

# Magnetska svojstva tla vrtića Zagreba i Siska kao indikatori potencijalnog onečišćenja teškim metalima

---

Štimac, Barbara

Master's thesis / Diplomski rad

2017

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:575208>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**RUDARSKO- GEOLOŠKO- NAFTNI FAKULTET**  
**DIPLOMSKI STUDIJ GEOLOGIJE**

**Magnetska svojstva tla vrtića Zagreba i Siska kao indikatori  
potencijalnog onečišćenja teškim metalima**

DIPLOMSKI RAD

Barbara Štimac

G 204

Zagreb, 2017.

*Hvala svima*

## **Magnetska svojstva tla vrtića Zagreba i Siska kao indikatori potencijalnog onečišćenja teškim metalima**

Barbara Štimac

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko- geološko- naftni fakultet  
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### **Sažetak**

Okolišni magnetizam koristan je alat kao potencijalna nova metoda biomonitoringa. Magnetski parametri predstavljaju odlične zapise dugotrajnog zagađenja okoliša. S druge strane, geokemijske analize daju nam opće informacije o kemijskom sastavu uzorka. Ovaj diplomski rad fokusiran je na uzorke tla vrtića dva industrijska grada: Zagreb i Sisak. Izabrane su lokacije vrtića upravo jer su djeca najugroženija dobna skupina i regulativa kvalitete tla za vrtiće bi trebala biti najstroža. U nedavno izrađenoj geokemijskoj studiji uzorkovano je oko 200 lokacija unutar Grada Zagreba i naknadno 8 lokacija Grada Siska na dva horizonta: 0-5 cm i 30-40 cm. Magnetska mjerenja ( $\chi$ , IRM, SIRM, ARM) izvršena su u Paleomagnetskom laboratoriju Fort Hoofddijk, Sveučilište u Utrechtu, uz pomoć Dr. M.J.Dekkersa. Geokemijske analize izvršene su pri Hrvatskom Geološkom Institutu. Dobiveni podatci iskorišteni su za dobivanje usporedbe između količine magnetskih minerala i potencijalno toksičnih elemenata uneseni u okoliš putem antropogenog djelovanja. Ova vrsta istraživanja nikad nije izvršena na području Hrvatske i mogla bi biti od velike koristi okolišnoj geologiji regije.

Ključne riječi: okolišni magnetizam, magnetski susceptibilitet, tlo, ARM, IRM, vrtići, Zagreb, Sisak

Diplomski rad sadrži: 111 stranica, 20 tablica, 54 slika, 4 priloga i 38 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: knjižnica Rudarsko- geološko- naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Voditelj: Dr.sc. Slobodan Miko

Pomoć pri izradi: Dr. Mark J. Dekkers

Ocjenjivači: Dr.sc. Slobodan Miko  
Izv.prof.dr.sc. Marta Mileusnić  
Doc.dr.sc. Stanko Ružičić

Datum obrane: 19. svibnja 2017.

**Magnetic properties of kindergarden soils of Zagreb and Sisak as a proxy in potential heavy metal loading**

Barbara Štimac

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

**Abstract**

Environmental magnetism is a useful tool as a potential biomonitoring method. Magnetic parameters can provide an excellent measure of the long-term pollution loadings. Geochemical analysis, on the other hand, gives us general information about chemical compounds of the samples. This master thesis research would be focused on soil samples in kindergarden areas of two industrial cities: Zagreb and Sisak. Kindergarden areas were selected because children are most endangered age group and soil quality regulation for kindergardens are one of the highest. In a recent geochemical study approx. 200 locations of kindergarden playgrounds and parks in the city of Zagreb and 8 in the city of Sisak have been taken in two horizons: 0-5 cm and 30-40 cm. Magnetic measurement (low-field magnetic susceptibility  $\chi$ , isothermal remanent magnetisation IRM, 'saturation' isothermal remanent magnetisation SIRM, SIRM/ $\chi$ , anhysteretic remanent magnetisation ARM) were done in Utrecht University, Paleomagnetic laboratory Fort Hoofdijk under the supervision of Dr. M.J. Dekkers. Geochemical analyses were done in Croatian Geological Survey. The obtained data were used to make a viable comparison of concentration of magnetic minerals and the amount of potentially toxic elements imported in environment by anthropogenic sources.

Keywords: environmental magnetism, susceptibility, soil, ARM, IRM, kindergarden, Zagreb, Sisak

Thesis contains 111 pages, 20 tables, 54 figures, 4 appendices and 38 references

Original in Croatian

Thesis deposited at: The library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Supervisor: Dr.sc. Slobodan Miko

Technical support and assistance: Dr. Mark J. Dekkers

Reviewers: Dr.sc. Slobodan Miko  
Assistant Professor Marta Mileusnić, PhD  
Assistant Professor Stanko Ružičić, PhD

Date of defense: May 19th, 2017.

## Sadržaj

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Osnove magnetizma.....</b>	<b>3</b>
2.1. Susceptibilitet.....	8
2.2. Remanentni magnetizam.....	10
2.3. Morfologija magnetskih čestica.....	14
<b>3. Geokemija tla .....</b>	<b>15</b>
3.1. Definicija tla i urbanog tla .....	15
3.2. Geokemija tla.....	17
3.3. Olovo .....	18
3.4. Cink.....	19
3.5. Bakar .....	19
3.6. Molibden .....	20
3.7. Antimon .....	20
3.8. Srebro.....	20
3.9. Živa .....	21
3.10. Geogeni elementi .....	21
<b>4. Veza magnetizma i geokemije .....</b>	<b>22</b>
<b>5. Opis istraživanih područja.....</b>	<b>24</b>
5.1. Geografski položaj i povijesni razvoj Zagreba .....	24
5.2. Geološka obilježja Grada Zagreba.....	25
5.2.1. Neogen .....	27
5.2.2. Kvartar.....	27
5.3. Pedološka obilježja tla Grada Zagreba .....	29
5.4. Geografski položaj i povijesni razvoj Siska.....	29
5.5. Geološka i pedološka obilježja Grada Siska .....	31
<b>6. Materijali i metode .....</b>	<b>33</b>
6.1. Uzorkovanje.....	33

6.2. Priprema uzoraka .....	36
6.3. Opisi rada i specifikacije uređaja .....	37
6.4. Statistička obrada podataka .....	39
<b>7. Rezultati .....</b>	<b>41</b>
7.1. Magnetska svojstva tla razvijena na različitim geološkim podlogama.....	49
7.1.1. Aluvijalni nanosi recentnih tokova Save (a) .....	49
7.1.2. Aluvijalni nanosi prve savske terase (a <sub>1</sub> ) .....	53
7.1.3. Aluvijalni nanosi druge savske terase (a <sub>2</sub> ) .....	57
7.1.4. Proluvij (pr) .....	60
7.1.5. Deluvij i proluvij (dpr) .....	62
7.1.6. Barski les (lb) .....	65
7.1.7. Kopneni beskarbonatni les (l) .....	69
7.1.8. Donji pleistocen (Pl,Q).....	72
7.1.9. Panon/pont.....	76
7.1.10. Box-Whiskers dijagrami .....	79
7.2. Magnetska svojstva tla unutar Grada Zagreba: odnos povijesne jezgre grada i današnjeg prostora grada .....	80
7.2.1 Kategorija stari povijesni grad do 1932.godine .....	81
7.2.2. Kategorija grad od 1932.godine do danas .....	85
7.2.3. Box-whiskers dijagrami .....	89
7.3. Omjer SIRM-IRM <sub>300</sub> /SIRM.....	90
7.4. Usporedba magnetskih parametara Zagreba i Siska .....	92
<b>8. Rasprava .....</b>	<b>94</b>
8.1 Utjecaj geološke podloge na magnetizam tla.....	96
8.2. Usporedba magnetskih svojstva tala povijesne jezgre grada i šireg današnjeg područja grada.....	101
8.3. Usporedba magnetskih svojstva tala vrtića gradova Zagreba i Siska .....	103
<b>9. Zaključak .....</b>	<b>106</b>
<b>10. Literatura .....</b>	<b>108</b>

## Popis slika

Slika 2.1. Organizacija spinova u magnetskim mineralima b) feromagnetizam c) antiferomagnetizam d) ferimagnetizam (preuzeto s <a href="http://www.daviddarling.info/encyclopedia/F/ferromagnetism.html">http://www.daviddarling.info/encyclopedia/F/ferromagnetism.html</a> , 19.04.2017).....	4
Slika 2.2. Magnetit (modificirano prema Tauxe „Essentials of paleomagnetism, 2010).....	5
Slika 2.3. a) SD i b) MD zrna (modificirano prema Tauxe „Essentials of paleomagnetism, 2010).....	6
Slika 2.4. SEM slike magnetskih sferičnih čestica (modificirano prema Sapkota, 2012).....	14
Slika 3.1. Pedološki profil (preuzeto s <a href="http://pedologija.com.hr/pedog_siste.htm">http://pedologija.com.hr/pedog_siste.htm</a> , 19.04.2017) .....	15
Slika 5.1. Geografski položaj Zagreba i Siska (https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatske_%C5%BEupanije, preuzeto 20.04.2017) .....	24
Slika 5.2. Isječak Osnovne geološke karte – list Zagreb 1: 100 000 (Šikić et al, 1972) .....	26
Slika 5.3. Isječak Osnovne geološke karte – list Sisak 1: 100 000 (Piktija, 1987a).....	31
Slika 6.1. Uzorkovanje a) površinskog i b) dubinskog horizonta .....	33
Slika 6.2. Karte lokacija uzorkovanja tla vrtića Grada Siska .....	34
Slika 6.4. Uzorci pripremljeni sa smolom .....	36
Slika 6.5. Smola i očvršćivač .....	37
Slika 6.6. Robotizirani uređaj 2G DC .....	38
Slika 7.1. Karta susceptibiliteta površinskog horizonta Grada Zagreba po percentilima.....	43
Slika 7.2. Karta susceptibiliteta dubljeg horizonata Grada Zagreba po percentilima .....	44
Slika 7.3. Karta ARM površinskog horizonata Grada Zagreba po percentilima.....	45
Slika 7.4. Karta ARM dubljeg horizonata Grada Zagreba po percentilima .....	46
Slika 7.5. Karta SIRM površinskog horizonta Grada Zagreba po percentilima.....	47
Slika 7.6. Karta SIRM dubljeg horizonta Grada Zagreba po percentilima .....	48



Slika 7.7. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu a.....	51
Slika 7.8. IRM grafovi za geološku jedinicu a za a) površinski i b) dubinski horizont .....	52
Slika 7.9. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu a <sub>1</sub> .....	55
Slika 7.10. IRM grafovi za geološku jedinicu a <sub>1</sub> za a) površinski i b) dubinski horizont .....	56
Slika 7.11. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu a <sub>2</sub> .....	58
Slika 7.12. IRM grafovi za geološku jedinicu a <sub>2</sub> za a) površinski i b) dubinski horizont .....	59
Slika 7.13. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu pr .....	61
Slika 7.14. IRM grafovi za geološku jedinicu pr za a) površinski i b) dubinski horizont.....	62
Slika 7.15. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu dpr .....	64
Slika 7.16. IRM graf za geološku jedinicu dpr za površinski horizont .....	65
Slika 7.17. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu lb .....	67
Slika 7.18. IRM grafovi za geološku jedinicu lb za a) površinski i b) dubinski horizont.....	68
Slika 7.19. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu l .....	71
Slika 7.20. IRM graf za geološku jedinicu l za površinski horizont .....	72
Slika 7.21. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu Pl/Q.....	74
Slika 7.22. IRM graf za geološku jedinicu Pl,Q za a) površinski i b) dubinski horizont.....	75
Slika 7.23. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu panon/pont .....	77
Slika 7.24. IRM graf za geološku jedinicu panon/pont za površinski horizont.....	78
Slika 7.25. Box-whiskers dijagrami prema podjeli geološke građe a) susceptibilitet b) SIRM c) ARM100 d) SIRM/x.....	79
Slika 7.26. Karta izdvojene kategorije „stari povijesni grad“ .....	80
Slika 7.27. Izabrani dijagrami raspršenja za kategoriju „stari povijesni grad“ .....	83
Slika 7.28. IRM graf za kategoriju „spg“ za a) površinski i b) dubinski horizont .....	84
Slika 7.29. Izabrani dijagrami raspršenja za kategoriju „ grad“ .....	87
Slika 7.30. IRM graf za kategoriju „g“ za a) površinski i b) dubinski horizont.....	88

Slika 7.31. Box-whiskers dijagrami prema podjeli grad a) susceptibilitet b) SIRM c) ARM100 d) SIRM/x.....	89
Slika 7.32. Karta lokacija s omjerom SIRM-IRM300/SIRM većim od 10%.....	91
Slika 7.33. Usporedba magnetskih parametara tla vrtića Zagreba i Siska a) susceptibilitet b) SIRM c) ARM100 d) SIRM/x.....	92
Slika 8.1. Prikaz r klaster analize magnetometrijskih i geokemijskih podataka za površinske uzorke.....	95
Slika 8.2. Prikaz r klaster analize magnetometrijskih i geokemijskih podataka za dubinske uzorke.....	96
Slika 8.3. Usporedba ukupne koncentracije magnetskih minerala i udjela SD zrna u podjeli po geološkoj građi za a) površinski i b) dublji horizont.....	98
Slika 8.4. Usporedba ukupne koncentracije magnetskih minerala i udjela MD zrna u podjeli po geološkoj građi za a) površinski i b) dublji horizont.....	100
Slika 8.5. Usporedba ukupne koncentracije magnetskih minerala i udjela SD zrna u podjeli po gradu za a) površinski i b) dublji horizont.....	102
Slika 8.6. Usporedba ukupne koncentracije magnetskih minerala i udjela MD zrna u podjeli po gradu za a) površinski i b) dublji horizont.....	104
Slika 8.7. Usporedba magnetskih parametara Zagreba i Siska.....	105

## Popis tablica

Tablica 2.1. Raspon vrijednosti magnetskog susceptibiliteta (modificirano prema Sapkota, 2012).....	9
Tablica 2.2. Jačina polja potrebna za saturaciju najčešćih magnetskih minerala (modificirano prema Kumar Das, 2014).....	12
Tablica 2.3. Najvažniji mjereni magnetski parametri i njihovo značenje .....	13
Tablica 5.1. Izdvojene kartirane jedinice tla za tla vrtića Grada Zagreba .....	29
Tablica 7.1. Osnovna statistička obrada točaka površinskog horizonta .....	42
Tablica 7.2. Osnovna statistička obrada točaka dubinskog horizonta .....	42
Tablica 7.3. Broj točaka unutar podjele po geološkoj građi .....	49
Tablica 7.4. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu a .....	50
Tablica 7.5. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu a1 .....	53
Tablica 7.6. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu a2 .....	57
Tablica 7.7. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu pr.....	60
Tablica 7.8. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu dpr.....	63
Tablica 7.9. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu lb .....	66
Tablica 7.10. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu l .....	69
Tablica 7.11. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu Pl,Q .....	73

Tablica 7.12. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu panon/pont.....	76
Tablica 7.13. Osnovna statistička obrada točaka kategorije „stari povijesni grad“ .....	81
Tablica 7.14. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za kategoriju „stari povijesni grad“ .....	82
Tablica 7.15. Osnovna statistička obrada točaka kategorije „grad“ .....	85
Tablica 7.16. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za kategoriju „g“ .....	86

## Popis priloga

Prilog 1. Popis vrtića sa koordinatama i nazivima vrtića

Prilog 2. Rezultati magnetometrijskim mjerenja tla vrtića Grada Zagreba

Prilog 3. Rezultati magnetometrijskim mjerenja tla vrtića Grada Siska

Prilog 4. Lokacije vrtića na kojima koncentracije PTE prelaze u granične koncentracije

(modificirano prema Miko et al, 2010)

## 1. Uvod

Okolišni magnetizam relativno je novo područje istraživanja koje veže magnetizam i okolišnu geokemiju. Praktična primjena ove interdisciplinarnе metode primjenjuje se već u par područja istraživanja. Magnetska istraživanja koristila su se za rekonstruiranje paleklіma (Banerjee, 1994), detaljna istraživanja procesa formiranja tla (Maher, 1986), identifikaciju izvora sedimenata (Walling et al., 1979). U novije vrijeme, ta ista magnetska mjerenja sve su važniji izvor informacija u studijama zagađenja okoliša (Lourenco et al., 2014) i biomonitoringa zagađenja zraka u blizini prometnica pomoću magnetskih parametara lišća drveća (Matzka et Maher, 1999; Moreno et al., 2003)

Okolišni magnetizam vrlo je korisna metoda potencijalnog biomonitoringa upravo zato što su magnetski parametri izuzetno dobri pokazatelji dugotrajnog zagađenja. Za razliku od trenutnih očitavanja sa filtera zraka, dugotrajno zagađenje okoliša puno je opasnije za ljudsko zdravlje. Antropogeno zagađenje može rezultirati gubitkom određenih karakteristika tla, a ako su koncentracije potencijalno toksičnih/opasnih elemenata u tlu dovoljno visoka, mogu preko hranidbenog lanca direktno utjecati na zdravlje ljudi. Lokalni izvori zagađenja, kao što su na primjer industrijska postrojenja, predstavljaju značajni rizik za okoliš (tlo, bilje, voda) čak i nakon prestanka aktivnog djelovanja. To je bio jedan od glavnih razloga izbora mjesta rada ovog diplomskog rada. Izabrana su dva grada, Zagreb, kao najveći i glavni grad Republike Hrvatske, i Sisak, kao jedan od najvažnijih industrijskih gradova naše povijesti.

Upravo su tlo i sedimenti korišteni u mnogim ranijim studijama kao zapisi dugotrajnog zagađenja. Ti raniji radovi pokazuju blisku korelaciju između magnetskih čestica i distribucije teških metala oko industrijskih postrojenja (Haneche et al., 2003). Ta veza magnetizma i geokemije poslužila je kao početna ideja za ovaj rad. Tlo se sastoji od različitih tipova čestica, bilo prirodnog/geogenog ili antropogenog podrijetla. Antropogene čestice najčešće su povezane upravo s teškim metalima, a preko toga dobivamo vrlo precizne informacije o kvaliteti samog tla. Magnetske metode mogu detektirati postojanje takvih čestica i poslužiti kao parametar u određivanju potencijalnog okolišnog zagađenja. Magnetske čestice u tlu same po sebi ne predstavljaju direktan rizik, ali zbog svoje velike specifične površine, vrlo dobro adsorbiraju teške metale. Prema istraživanju Maher (1986, 1999), teški metali preferirano se

adsorbiraju upravo na željezne okside i hidrokside. Iz tog razloga, zagađenje antropogenim magnetskim česticama kao produktima industrije, u kombinaciji sa povišenom koncentracijom teških metala, može predstavljati veliki problem u urbanom i periurbanom okolišu.

Povišene koncentracije teških metala u našem okolišu mogu predstavljati značajni kofaktor u razvoju mnogih bolesti, kao na primjer karcinomi i razni kardiovaskularni problemi. Djeca predstavljaju posebno ugroženu skupinu iz dva razloga. Prvo, djeca su puno vjerojatnija da će unijeti određenu količinu zemlje i prašine u usta zbog učestalog kontakta prsti/usta. Drugo, dječji organizam puno je osjetljiviji čak i na manje koncentracije teških metala koji kod odrasle osobe ne bi izazvala zdravstvene probleme. Apsorpcija je u njihovim probavnim sustavima puno brža, kao i osjetljivost hemoglobina na metale (Wright et Welbourn, 2002). Iz svih tih razloga, države s uređenim zakonima o namjeni zemljišta i dozvoljenim koncentracijama elemenata po namjeni, imaju vrlo stroge regulative za dječja igrališta i vrtiće. Dječja igrališta predstavljaju prostore u kojima djeca urbanih sredina najduže borave izvan kuće i gdje su često u doticaju s tlom. Stoga bi dozvoljene koncentracije elemenata, pa time i teških metala, u dječjim igralištima trebala biti, prema zakonu, niže nego u zemljištima drugih urbanih namjena. Upravo zbog toga su u ovom diplomskom radu odabrana tla vrtića.

Jedan od glavnih problema je nedostatak zajedničkog europskog/svjetskog sistema za monitoring kvalitete tla. Umjesto toga, skoro svaka država ima svoj vlastiti nacionalni ili regionalni program monitoringa, klasifikacije i dopuštenih koncentracija elemenata u tlu. Upravo zbog toga, korelacija podataka između radova rađenih po drugačijim zakonima, gotovo je nemoguća.

## 2. Osnove magnetizma

Sva tla, nekonsolidirani materijal i stijene posjeduju određene magnetske karakteristike koje se vrlo lako mogu mjeriti i kvantificirati, te međusobno uspoređivati. Poznavanjem osnovnih zakonitosti fizike i magnetizma moguće je iz podataka magnetskih mjerenja izvući zaključke o koncentracijama i veličini zrna (Tauxe, 2010).

Izvor magnetski karakteristika materijala je u atomima. Magnetska polja nastaju pod utjecajem električnih struja. Na atomskoj razini, električna struja nastaje kao posljedica kretanja elektrona. Dva su načina kretanja elektrona. Prvo je kretanje elektrona (negativno nabijenih čestica) oko jezgre atoma u orbitalama. Prema teorijama kvantne mehanike, elektroni su organizirani u orbitale te je samo kretanje elektrona unutar orbitale je kvantizirano točno određenom energijom koju imaju. Drugo kretanje odnosi se na spin samih elektrona oko svoje osi. Svaki elektron unutar orbitale ima svoj magnetski spin vrijednosti  $\pm 1/2$ . Prema tome, svaka orbitala može biti popunjena s dva elektrona suprotnog spina. Kombinacija ta dva kretanja daje magnetski moment. Kada je određena orbitala nepopunjena, odnosno sadrži samo elektron jednog spina, nastaje određeni magnetski moment. Zbog toga se svaki elektron može promatrati kao mali magnet. Zbrojem svih magnetskih momenata pojedinih elektrona dobivamo magnetski moment cijelog minerala/uzorka (Tauxe, 2010).

Magnetsko ponašanje materijala može se podijeliti u tri kategorije: dijamagnetizam, paramagnetizam i feromagnetizam. Dijamagnetizam i paramagnetizam relativno su slabi, dok feromagnetizam pokazuje puno jači magnetski odgovor ukoliko se minerali izlože vanjskom magnetnom polju. Magnetski signal koji mi mjerimo u okolišu potječe upravo od svega 1% feromagnetičnih minerala (Kumar Das, 2014). Sam dijamagnetizam karakteriziran je niskim, negativnim magnetskim momentom, a javlja se u vodi, feldspatima, kvarcu, te se najčešće, zbog niskih vrijednosti, zanemaruje. Paramagnetizam nastaje kada imamo nesparene elektrone i slabi pozitivni magnetski moment, npr. biotit, piroksen, olivin. U oba slučaja, inducirani magnetski moment nestaje pri prestanku djelovanja vanjskog magnetnog polja.

Feromagnetizam karakterističan je za prijelazne metale, kao što su željezo, nikal, kobalt. To je skupina elemenata s najviše nesparenih elektrona u svojim orbitalama, što rezultira najvišim vrijednostima magnetskog momenata. Feromagnetizam karakteriziran je, osim visokim vrijednostima magnetskog momenta, permanentnom magnetizacijom, tj. magnetski momenti

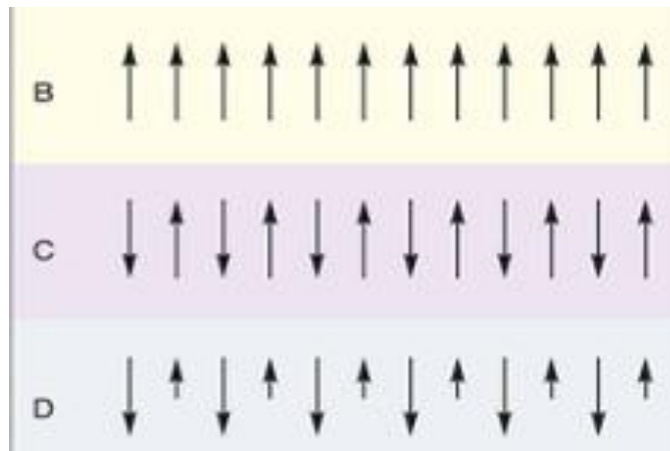


ostaju čak i nakon uklanjanja vanjskog magnetskog polja (Tauxe, 2010). Kao što je prikazano na Slici 2.1., unutar feromagnetizma (*sensu lato*), ovisno o organizacije magnetskih spinova unutar samog minerala možemo razlikovati :

feromagnetizam (*sensu stricto*) → svi spinovi su međusobno paralelni, npr. čisto željezo

antiferomagnetizam → svi spinovi su međusobno antiparalelni, ukupni moment iznosi 0, npr. ilmenit; u slučaju da poravnanja između spinova nisu savršeno antiparalelna imamo spin-canted antiferomagnetizam, što rezultira slabim magnetskim momentom, kao što je primjer hematit

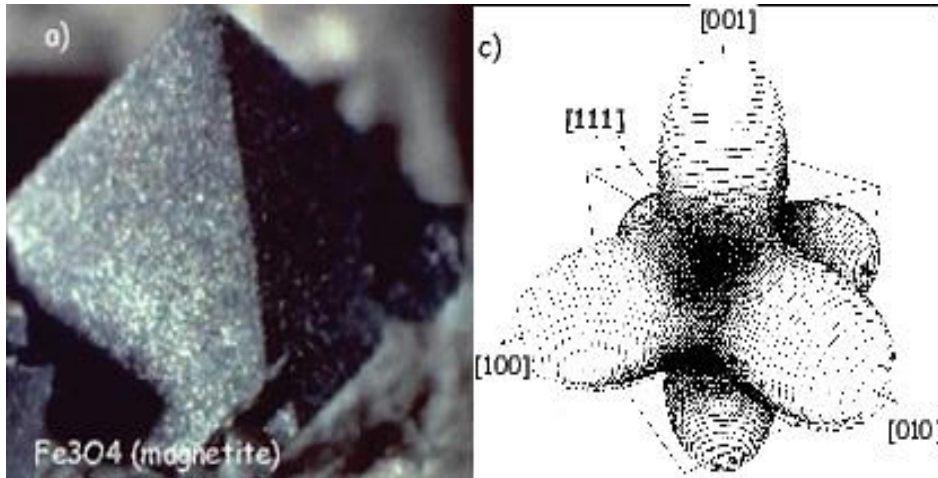
ferimagnetizam → svi spinovi su međusobno antiparalelni, ali magnetski momenti nisu istih vrijednosti u oba smjera, uzrokujući ukupni magnetski moment preferentno u jednom, jačem smjeru, npr. magnetit



Slika 2.1. Organizacija spinova u magnetskim mineralima b) feromagnetizam c) antiferomagnetizam d) ferimagnetizam (preuzeto s <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/F/ferromagnetism.html>, 19.04.2017)

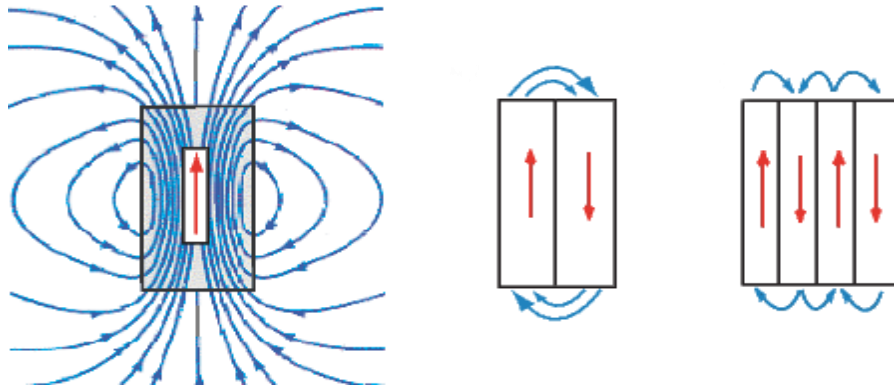
Kao posljedica feromagnetizma (*sensu lato*) javljaju se i domene unutar feromagnetčnih minerala. Određeni pravci spinova unutar kristalne rešetke minerala određeni su niskom energijom i, sukladno zakonima fizike i očuvanja energije u mirovanju, spinovi će se orijentirati u smjeru najmanje potrebne energije. Okretanje smjera magnetizacije iz jednog “lakog” smjera u drugi zahtjeva određenu količinu energije. U slučaju kristalne rešetke

magnetita prikazanog na Slici 2.2., smjer s najmanjom energijom magnetizacije su dijagonale [111].



Slika 2.2. Magnetit (modificirano prema Tauxe „Essentials of paleomagnetism, 2010)

Što je ta energetska barijera veća, manja je vjerojatnost promjene magnetizacije tijekom dugog vremenskog perioda. Takvi minerali ostaju nam kao zapisnici magnetizacije u vrijeme nastanka. Kvazi uniformno magnetizirana zrna malih dimenzija nazivamo *single domain* SD zrna. Karakterizira ih paralelni i/ili antiparalelni raspored spinova. S porastom zrna, susjedni spinovi mogu divergirati od strogog paralelizma, čime dobivamo *pseudo-single domain* PSD zrna. S daljnjim rastom zrna, unutar njega pojavljuju se regije s kvaziuniformnom magnetizacijom odijeljene zidovima domena. Takva zrna nazivamo *multi domain* MD zrna (Tauxe, 2010). Mjerenjem magnetskih parametara može se razlikovati između SD i MD zrna (Slika 2.3.), čime direktno dobivamo i informacije o veličinama zrna magnetskih minerala u uzorku. Približno točnu veličinu zrna na kojoj dolazi do pojave zidova domena još uvijek nije moguće točno odrediti. U primjeru magnetita, prijelaz is SD u MD zrna ne ovisi samo i isključivo o veličini, nego i o obliku, stanju stresa, vremenu i trajanju izloženosti vanjskom magnetnom polju. Brojna istraživanja na ovu temu došla su do raspona veličina od 20 do 100 nm (Tauxe, 2010).



Slika 2.3. a) SD i b) MD zrna (modificirano prema Tauxe „Essentials of paleomagnetism, 2010)

U okviru okolišnog magnetizma, najzanimljiviju su upravo minerali s izraženijim magnetskim karakteristikama. Izvor takvih minerala je višestruk: detritni materijal stijena transportiran raznim procesima, autigena ili dijagenetska produkcija, vulkanski pepeo, in-situ pedogenetski procesi, kozmički izvori, antropogeno zagađenje, magnetske bakterije (Walden et al., 1998).

Feromagnetni minerali čine mali postotak minerala magmatskih i metamornih stijena, ali ipak predstavljaju primarni izvor detritnog materijala u okolišnim sistemima. Najčešći minerali s feromagnetnim ponašanjem su oksidi/hidroksidi i sulfidi prijelaznih metala, kao što su magnetit, hematit, getit, pirit, greigit, lepidokrokit. Sedimentne stijene građene su većim dijelom od silikata koji pokazuju dijamagnetično ponašanje. Ipak mala količina iona  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  može uzrokovati paramagnetizam u sedimentnim stijenama (Tauxe, 2010). U okviru ovog diplomskog rada, korišteni su uzorci tla. Dok magnetska mjerenja u stijenama vrlo jednoznačno ukazuju na dominantne minerale kao nosioce magnetizma, identifikacija istih unutar tla znatno je kompliciranija. Osim detritnog materijala i autigenih minerala, u površinskim uzorcima tla najčešće se mogu očekivati i minerali nastali procesima industrijskog izgaranja. U tlu, pretpostavljena je vertikalna migracija željezovitih čestica prema dolje. To se uočava postupnim povećanjem magnetskog signala niz profil (Kumar Das, 2014).

Mjerenje magnetih parametara omogućava vam donošenje zaključaka o mineralogiji, koncentraciji i veličini zrna unutar uzorka, pa čak i određivanje izvora mogućeg zagađenja (Kumar Das, 2014). Najčešće mjereni parametri su magnetski susceptibilitet, ARM i SIRM. Oni se vrlo lako mogu kvantificirati kako bi dobili informacije o tipu magnetskim minerala prisutnih, njihovoj koncentraciji i veličini zrna. Svi oni korišteni su u raznim okolišnim studijama za određivanje tipa industrijskog izvora zagađenja (elektrane, metalurgija, proizvodnja cementa, itd.). U većini slučajeva, industrijska postrojenja povezana su s ispuštanjem magnetske frakcije, koja povisuje magnetski odziv u tlu. Flanders (1994) zaključuje da industrijska prašina emitirana iz lokalnih izvora sadrži oko 10% magnetita, a količina tog magnetita deponirana na drveće i površinu tla ovisi o udaljenosti od izvora.

U okviru okolišne primjene, magnetski parametri najviše se koriste u dvije svrhe; jedan je monitoring zagađenja, a druga se odnosi na praćenje trasa transporta zagađenja. Alteracija i redistribucija željeza u okolišu najčešće odgovara i promjenama magnetskih karakteristika samih tla i/ili sedimenata.

## 2.1. Susceptibilitet

Magnetski susceptibilitet je jedan od najosnovnijih parametara koji se koristi u svim istraživanjima vezanim za okolišni magnetizam. Parametar predstavlja proporcionalnost između inducirano magnetizma i primijenjenog magnetskog polja. (*Inducirani magnetizam nastaje kao odgovor orbitala i/ili nesparenih elektrona na vanjsko magnetsko polje.*)

$$\mathbf{M}_I = \chi * \mathbf{H} \quad (\text{formula 2.1.})$$

$M_I$  → inducirani magnetizam ( $\text{Am}^{-1}$ )

$\chi$  → magnetski susceptibilitet

$H$  → vanjsko primijenjeno polje ( $\text{Am}^{-1}$ )

Drugim riječima, magnetski susceptibilitet govori o “magnetostabilnosti” materijala. Samo mjerenje je jednostavno, brzo, jeftino, nedestruktivno, može se izvoditi na terenu i u laboratorij i daje mogućnost izrade 2D i 3D karata (Maher et al., 1986). Magnetski susceptibilitet za sada se pokazao kao vrlo korisna metoda kvantificiranja relativne koncentracije teških metala u okolišnim studijama po Europi, SAD-u, Južnoj Americi i Kini.

U tlima, susceptibilitet materijala ovisi o koncentraciji, mineralnom sastavu, veličini zrna i kristalnoj formi željezovitih minerala. Raspon dobivenih vrijednosti susceptibiliteta najviše ovisi o koncentraciji ferimagnetičnih minerala. Najviše vrijednosti susceptibiliteta također se dobivaju za čisto željezo, dok svaka zamjena iona željeza za mangan i/ili titan, smanjuje vrijednosti (Maher et al., 1986).

Magnetskim susceptibilitetom određuje se mjera privlačnosti minerala prema malom magnetu. Prema vrijednostima magnetskog susceptibiliteta koje daju prilikom mjerenja, može se izdvojiti pet grupa minerala. Dijamagnetični minerali, kao čisti karbonat ili kvarc, daju ekstremno male, negativne vrijednosti susceptibiliteta i zanemarive rezultate, te jedini u svojoj strukturi nemaju uklopljeno željezo. Paramagnetični i ferimagnetični daju više vrijednosti. Prisutnost čak i male koncentracije ferimagnetičnih minerala, npr. magnetita ili titanomagnetita, znatno će povisiti vrijednost susceptibiliteta čak i u dominantno paramagnetičnom uzorku. Magnetit predstavlja jedan od glavnih minerala u svim magmatskim, većini sedimentnih stijena i svim tlima. Nešto slabije vrijednosti susceptibiliteta daju minerali s *canted* antiferomagnetičnim ponašanjem, kao na primjer hematit. Minerali iz ove grupe odgovorni su za crvena i žuta obojenja sedimenata. Zadnju grupu minerala čini na

primjer čisto željezo koje pokazuje feromagnetično ponašanje i daje najviše vrijednosti magnetskog susceptibiliteta, međutim vrlo je rijetko u okolišu (Tauxe, 2010). Slika 2.4. prikazuje da magnetski susceptibilitet većine materijala ima raspon od  $<0,001$  do  $30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ . Tablica 2.1. prikazuje okvirne raspone vrijednosti magnetskog susceptibiliteta očekivane u ranije spomenutim grupama magnetskih minerala.

Tablica 2.1. Raspon vrijednosti magnetskog susceptibiliteta (modificirano prema Sapkota, 2012)

<b>vrsta magnetskih minerala</b>	<b>raspon vrijednosti magnetskog susceptibiliteta</b>
dijamagnetični	$\sim -6 \times 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$
paramagnetični	$\sim 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$
antiferomagnetični	$\sim 6 - 7 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$
ferimagnetični	$\sim 0.5 - 5.6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$

Magnetski susceptibilitet koristi se unutar mnogih istraživanja i disciplina kao vrlo korisna metoda. Samo za primjer, Sapkota (2012) koristi ga za paleoceanske studije tropskih klimatskih promjena, Maher (1986) u paleolimnološkoj studiji za određivanje alohtonog unosa organskog materija u jezerski sustav. Kao koristan parametar u studijama okoliša i zagađenja, također ga koriste mnogi znanstvenici, kao na primjer Matzka et Maher, 1999; Petrovsk'y et al., 2000; Knab et al., 2001, 2006; Boyko et al., 2002, 2004; Hanesch et Scholger, 2002; Schibler et al., 2002; Jordanova et al., 2003a,b, 2004; Lecoanet et al., 2003; Pozza et al., 2004; Desenfant et al., 2004; Spiteri et al., 2005; Magiera et al., 2006, Zhang et Yu, 2002; Hu et al., 2003; Wang et Qin, 2005, 2006a,b; Chan et al., 2001, Goddu et al., 2004; Das, 2005, Bilos et al., 2001, Quaranta et al., 2002, Mazzeo et al. 2005.

Istraživanje Thompsona et Oldfielda, (1986) pokazalo je da tla urbanih i industrijskih zona pokazuju povišene vrijednosti magnetskog susceptibiliteta. To povišenje posljedica je taloženja magnetskih čestica antropogenog podijetla, npr. prašina metalurgijske industrije ili čestice nastale izgaranjem fosilnih goriva.

## 2.2. Remanentni magnetizam

Remanentni magnetizam je spontani magnetizam uzorka koju se zadržava čak i nakon prestanka djelovanja vanjskog magnetnog polja. Ima svoj smjer i magnitudu. Smjer je uvijek paralelan smjeru primijenjenog polja, dok je magnituda ovisna o jačini polja, koncentraciji, tipu i veličini zrna unutar uzorka koja se mogu magnetizirati (Tauxe, 2010). Za znanstvenike koji proučavaju Kvartar daleko je najvažniji prirodni remanentni mehanizam, ali veliku količinu korisnih podataka može se dobiti i iz antihisterezijske remanentne magnetizacije.

NRM ili prirodni remanentni magnetizam najjednostavnije je prirodno dobiveni magnetizam svih materijala dobiven kao vektorski zbroj različitih komponenata magnetizacije minerala. Ti mehanizmi su:

- VRM = viskozna remanentna magnetizacija dobivena je dugotrajnim izotermalnim izlaganjem vanjskom magnetnom polju
- TRM = termalna remanentna magnetizacija dobiva se hlađenjem materijala ispod Curieove temperature u vanjskom magnetnom polju
- CRM = kemijska remanentna magnetizacija nastaje kemijskim promjenama formiranja feromagnetičnih minerala ispod Curieove temperature u vanjskom magnetnom polju
- DRM = taložna remanentna magnetizacija dobiva se taloženjem prije magnetiziranih zrna u vanjskom magnetnom polju
- TVRM = termalno viskozna remanentna magnetizacija nastaje u zrnima s kraćim relaksacijskim vremenom od vremena izloženosti povišenoj temperaturi
- IRM = izotermalna remanentna magnetizacija dobiva se trenutnim pulsirajućim kratkotrajnim izlaganjem materijala velikom vanjskom magnetnom polju na konstantnoj temperaturi. Upravo ovaj parametar mjeren je u ovom radu. Osim u laboratoriju, ova vrsta magnetizacije može se pojaviti i u prirodi, na primjer udarom groma. Vrijednosti dobivene mjerenjem osjetljive su na mineralogiju, koncentracije i veličine zrna. Maksimalna vrijednost IRM-a označava se kao SIRM (*saturation isothermal remanent magnetization*), za većinu uzoraka djelovanjem vanjskog magnetnog polja jakosti 700-1000 mT. SIRM označava najvišu vrijednost remanentne magnetizacije koju uzorak može imati primjenom visokog vanjskog magnetnog polja. U Tablici 2.2. prikazani su najčešći magnetski minerali i

procijenjene jačine magnetskog polja potrebnog za dostizanje saturacijske izotermalne remanentne magnetizacije.

Iz svih dobivenih parametara, lako se mogu dobiti vrlo značajni omjeri kao što su ARM/SIRM, SIRM/  $\chi$ , koji nam daju važne informacije o koncentraciji, veličini i vrsti magnetskih minerala.

SIRM/  $\chi$  omjer govori nam ili o mineralogiji ili o sličnosti minerala, koncentracija ili veličine zrna unutar uzorka. Nizak omjer, blizak teoretskoj nuli, indicira prisutnost paramagnetičnih minerala. Kada je mineralogija uzorka homogena, SIRM/  $\chi$  omjer daje podatke o promjenama u veličini zrna. Različiti magnetski minerali najveći dio svog remanentnog magnetizma dobivaju na različitim vrijednostima polja. Ferimagnetični minerali, kao što je magnetit, dobivaju jak remanentni magnetizam upravo na niskim vrijednostima jakosti polja, te većina zrna, osim najsitnijih čestica, dolazi do saturacije na 200 mT. S obzirom na tu lakoću saturacije, najčešće se opisuju kao magnetski “mekani” (*magnetically soft*). S druge strane, nepravilni antiferomagnetski minerali, kao što je hematit, najveći dio svog remanentnog magnetizma dobivaju upravo na visokim vrijednostima jačine polja te se nazivaju magnetski “tvrđi” (*magnetically hard*). U određenim primjerima vidljivo je da takvi minerali ne dolaze do pune vrijednosti saturacije čak ni na polju vrijednosti 1 T (Walden et al., 1998). Iako s ovim parametrom dobivamo podatke i krivulje koje je relativno jednostavno interpretirati, treba biti oprezan. Čak i ako uzorci sadrže samo kombinaciju magnetita i hematita, mješavina krupnijih magnetita i sitnozrnatijeg hematita može rezultirati krivuljom koju je teško smjestiti i interpretirati. Osim toga, u prirodnim uzorcima često nalazimo i druge magnetske minerale kao što su getit, greigit, koji također pridonose ukupnom magnetizmu uzorka. Korištenjem kombinacije analize magnetskih parametara i drugih, dodatnih analitičkih metoda, mogućnost i veličina pogreške značajno se smanjuje.



Tablica 2.2. Jačina polja potrebna za saturaciju najčešćih magnetskih minerala (modificirano prema Kumar Das, 2014)

<b>mineral</b>	<b>formula</b>	<b>magnetska struktura</b>	<b>saturacijsko polje (T)</b>
<b>magnetit</b>	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	ferimagnetična	<0,3
<b>maghemit</b>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	ferimagnetična	<0,3
<b>hematit</b>	$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$	antiferomagnetična	1-5
<b>željezo</b>	Fe	feromagnetična	<0,1
<b>geotit</b>	$\alpha\text{FeOOH}$	antiferomagnetična	10
<b>pirhotit</b>	$\text{Fe}_7\text{S}_8 - \text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$	feromagnetična	do 1
<b>greigit</b>	$\text{Fe}_3\text{S}_4$	ferimagnetična	<0,3

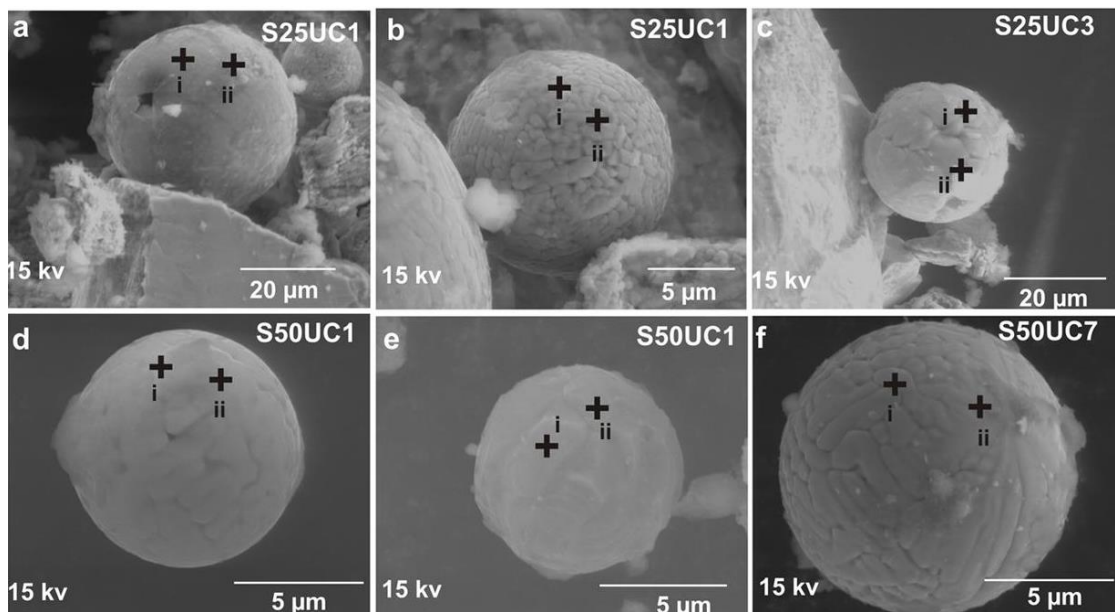
ARM ili anhisterezijska remanentna magnetizacije jedan je od načina umjetne magnetizacije materijala. Nastaje izlaganjem uzorka kombiniranom djelovanju visokog izmjeničnog polja i niskog DC polja. Anhisterezijska magnetizacija dobiva se postupnim smanjivanjem izmjeničnog polja do nule dok se zadržava konstantno DC polje. Uloga izmjeničnog polja je uklanjanje histereze i dobivena magnetizacija najčešće jednoznačno ukazuje na stabilne SD ferimagnetske minerale. Istraživanje Egli et Lowrie (2002) pokazuje da su vrijednosti ARM u sitnim česticama kontrolirane veličinom i oblikom zrna. Vrlo često se koristi omjer ARM i IRM vrijednosti kao diskriminirajući faktor između SD (*single domain*) i MD (*multi domain*) zrna (Johnson et al., 1975). ARM/SIRM omjer indikativan je za koncentraciju SSD zrna, odnosno, što je omjer veći, veća je koncentracija SSD magnetskih minerala unutar uzorka. Svi navedeni magnetski parametri i njihovo značenje sažeti su u Tablici 2.3.

Tablica 2.3. Najvažniji mjereni magnetski parametri i njihovo značenje

Parametar	Ime	Značenje
<b>x</b>	magnetni susceptibilitet	udio fero, feri, antifero, para i dijamagnetičnih minerala u uzorku
<b>SIRM</b>	saturacijska izotermalna remanentna magnetizacija	udio remanentne magnetizacije svih magnetskih minerala na najvišoj mjerenoj jačini polja (700 mT)
<b>„meki“ IRM</b>	„meka“ izotermalna remanentna magnetizacija	koncentracija feromagnetičnih minerala: magnetit, maghemit
<b>„tvrđi“ IRM</b>	„tvrđi“ izotermalna remanentna magnetizacija	koncentracija antiferomagnetičnih minerala: hematit, goethit
<b>ARM/SIRM</b>		veličina zrna: veći omjer → viši udio SD magnetskih minerala
<b>SIRM/x</b>		veličina zrna: veći omjer → viši udio MD magnetskih minerala
<b>SIRM-IRM<sub>300</sub>/SIRM</b>		>10% u uzorku → prevladavaju „tvrđi“ magnetski minerali: hematit, goethit

### 2.3. Morfologija magnetskih čestica

Istraživanje Hay et al. (1997) utvrdilo je da se morfologija magnetskih minerala bitno razlikuje ovisno o načinu njihovog nastanka. Magnetit nastao u procesima izgaranja najčešće je karakteriziran sferičnim izgledom čestica, kao što je prikazano na Slici 2.4. S druge strane magnetit nastali u prometu, tj. izbacivanjem iz auspuha automobila, najčešće su oštrokutne i manje dimenzije od industrijski nastalog magnetita. Magnetske čestice mogu se razlikovati od drugih magnetskih geogenih čestica i po svojoj veličini. Hay et al. (1997) je dokazao su da antropogene magnetske čestice, za razliku od sekundarnih feromagnetski minerala, imaju promjer veći od 2  $\mu\text{m}$ .

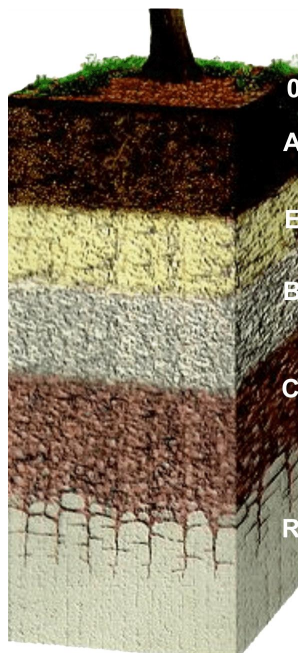


Slika 2.4. SEM slike magnetskih sferičnih čestica (modificirano prema Sapkota, 2012)

### 3. Geokemija tla

#### 3.1. Definicija tla i urbanog tla

Prema Škoriću (1986) tlo je rastresita prirodna tvorevina nastala djelovanjem pedogenetskih faktora (matični supstrat, klima, reljef, organizmi i vrijeme), tijekom procesa pedogeneze (trošenje minerala, tvorba sekundarnih minerala, razgradnja organske tvari i nastanak humusa, tvorba organomineralnih spojeva, migracija i sl.).



Slika 3.1. Pedološki profil (preuzeto s [http://pedologija.com.hr/pedog\\_siste.htm](http://pedologija.com.hr/pedog_siste.htm), 19.04.2017)

Vertikalni presjek kroz tlo na mjestu opažanja naziva se profil tla, koji se sastoji od horizonata tla, slojeva gotovo paralelnih površini terena. Broj horizonata, njihov slijed, debljina, izraženost i prijelaz jednog u drugi čine sklop profila. Sva tla ne moraju sadržavati sve horizonte što izrazito ovisi o klimi, topografiji i drenaži. Tipični horizonti pedološkog profila prikazani na Slici 3.1. su:

- horizont O → organski površinski horizont, sadrži ostatke organskog materijala
- horizont A → bogat mineralnom tvari i u manjoj količini ostataka organske tvari koje mu mogu dati tamniju boju

- horizont E → eluvijalni horizont, nije uvijek razvijen, horizont iz kojeg su minerali glina, željezo, aluminij i organska tvar isprani, te je zbog toga svjetliji od horizonata iznad i ispod
- horizont B → iluvijalni horizont, zona akumulacije minerala glina, željeza, aluminijska, te organske materije i minerala ispranih iz horizonta A
- horizont C → najdonji horizont tla, slabo je izmijenjen, a mineralni sastav je sličan matičnoj stijeni u podlozi, te ne sadrži organsku tvar.
- horizont R → matična stijena

Raniji radovi pokazali su da aerosoli nastali procesima industrijskog gorenja sadrže specifične magnetske komponente i vrlo je lako njihovo nakupljanje u O i A horizontima tla (Hunt et al., 1984; Beckwith et al., 1986; Dearing et al., 1995; Strzyszczy, 1989), pogotovo u urbanim područjima i nizvodno od samih postrojenja.

Urbano tlo definirano je prema Bockheimu kao tlo koje se sastoji od nepoljoprivrednih materijala čiji je površinski sloj debeo više od 50 cm i koje je nastalo miješanjem, punjenjem ili kontaminacijom površine zemljišta u gradskim i prigradskim područjima. Sama urbana tla mogu se podijeliti na prirodna i antropogena. Prirodna tla nastaju taloženjem materijala prirodnim procesima (vjetar, voda, led) ili trošenjem matičnih stijena dok antropogena tla nastaju kao rezultat unosa materijala antropogenim djelovanjem. Taj materijal može biti prirodni, pepeo, kruti komunalni i/ili građevinski otpad (Scheyer et Hipple, 2005). Teški metali (npr. As, Zn, Pb, Ni, Hg, Cu, Cd i Cr) mogu doprijeti u urbani okoliš na razne načine: iz domaćinstava, grijanjem u stambenim prostorima, raznim spalionicama, elektranama, industrijama, iz motornih vozila itd. Druga podjela urbanih tla prema Klasifikaciji tla Hrvatske (KTH) dijeli urbana tla na antropogena i tehnogena. Antropogena tla su izmijenjena uslijed obrade i gnojidbe i odnose se na poljoprivredna tla, a nisu vezana za gradove. Tehnogena tla odnose se na tla koja nastaju odlaganjem tehnogenih materijala. Razlikuju se tla deponije, flotacijski materijal i nanosi iz zraka (Škorić, 1986).

Koncentracija teških metala u urbanim tlima smanjuje se udaljavanjem od najvažnijih cestovnih mreža i s povećanjem dubine uzorkovanja (Fordyce et al., 2005).

Za određivanje stupnja zagađenja najpogodniji je C horizont, koji predstavlja rastrošeni dio matičnog supstrata bez znakova pedogenetskih procesa iz kojeg je nastalo tlo. Omjer između koncentracije elemenata u površinskom, najgornjem sloju i C horizontu upućuje nas na veličinu ljudskog utjecaja na originalno tlo (Fordyce et al., 2005).

#### 3.2. Geokemija tla

Geokemijska istraživanja koriste kemijske analize za utvrđivanje izvora, procesa akumulacije i mobilnosti metala/metaloida. Ako želimo odraditi anorgansko onečišćenje ekosustava, koristi se pozadinska vrijednost elemenata, stupanj njihove akumulacije pomoću faktora obogaćenja, mobilnost, vrste i frakcionacija u odnosu na mineraloški sastav pomoću selektivnih i sekvencijskih ekstrakcijskih analiza (Kabata-Pendias et Mukherjee, 2007). Teški metali (gustoće veće od  $5 \text{ g/cm}^3$ ) ili elementi u tragovima (manje od 1% zastupljenosti u zemljinoj kori) uobičajeni su konstituent tla, ali njihova povećana koncentracija ukazuje nam na neku vrstu onečišćenja. Metale kao potencijalno toksične elemente možemo grupirati u tri skupine na temelju ekotoksičnosti:

- makronutrijenti (Ca, Mg) koji nisu potencijalno toksični
- mikronutrijenti (As, Co, Cr, Se, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, V) metali koji su u malim koncentracijama potrebni za normalno funkcioniranje organizma, ali u prevelikim koncentracijama mogu postati opasni za ljudsko zdravlje
- elementi koji nisu potrebni organizmu i štete mu čak i u malim koncentracijama (Be, Hg, Pb, Cd, Ni, Sb, Sn, Ti, W)

Tlo u ekosustavu služi kao sustav za filtriranje, puferiranje, retenciju i transformaciju anorganskih potencijalno toksičnih tvari. Urbano tlo najčešće predstavlja zagađeni sustav, upravo zbog blizine industrije, prometnica i svih ostalih oblika antropogene aktivnosti. Elementi u tragovima u tlo mogu dolaziti iz nekoliko izvora i prema tome ih dijelimo na :

- geogene elemente koji su naslijeđeni iz matične stijene
- pedogene elemente koji potječu od litologije ali su transformirani kroz niz pedogenetskih procesa
- antropogene elemente koji su unošeni u tlo kao posljedica ljudske aktivnosti. Upravo ti antropogeni elementi pokazuju veću biodostupnost i mobilnost od geogenih ili pedogenih istih elemenata (Kabata-Pendias et Mukherjee, 2007). Najvažnije izvore predstavljaju rudnici, metaloprerađivačka industrija, elektrane, recikliranje baterija, proizvodnja i izgaranje goriva, obrada drveta, korozija materijala, otpadne vode industrija, odlagališta otpada i mulja te intenzivna poljoprivreda s upotrebom gnojiva i pesticida.

Kao najopasnije elemente za ljudsko zdravlje treba izdvojiti kadmij, olovo i živu. Niti jedan od ta tri elementa nije potreban organizmu za normalni rad, izuzetno su toksični, bioakumuliraju se i mogu dovesti do štetnih posljedica čak i pri niskim koncentracijama. Iz svih tih razloga, ulagao se i još uvijek se ulaže veliki trud u smanjenje njihove emisije u atmosferu na europskoj razini. Ukupna emisija smanjena je za 50% u periodu 1991-1995., a zatim još 40% te vrijednosti u periodu od 1995-1999. godine (EMEP, 2002). To smanjenje emisije posljedica je poboljšanja tehnologije prerade otpadnih voda, spalionica i industrija prerada metala, koji predstavljaju točkaste izvore zagađenja. Uvođenje bezolovnog benzina značajno je smanjilo emisiju olova ranih devedesetih (EEA, 2003). U daljnjem tekstu izdvojeni su ukratko opisani izdvojeni elementi koji su pokazali najbolje korelacije s magnetskim parametrima.

#### 3.3. Olovo

Prirodni rasponi koncentracija Pb u tlima prvenstveno su posljedica litoloških koncentracija u matičnim stijenama. Tla sa većim udjelom gline pokazuju najčešće i povišene koncentracije olova. Prosječna ukupna koncentracija olova u tlima iznosi oko 25 mg/kg (Kabata-Pendias et Mukherjee, 2007). Mobilnost olova je uglavnom niska, ali može se povećati sniženjem pH i kompleksiranjem sa organskim ligandima u površinskim horizontima tla. U tlu, olovni kompleksi podliježu vezanju na Fe-Mn oksihidrokside, organsku tvar i minerale glina. Pb se koncentrira u površinskom sloju tla jer se taloži u sloju humusa, te u željezovitom horizontu lateritskih tala. Mnoga istraživanja pokazala su korelaciju olova sa

živom i cinkom, osobito u urbanim okolišima. Olovo je otrovan metal povezan s emisijom u urbanim okolišima i ima za posljedicu oštećenje gotovo svih organa, pogotovo djeluje na središnji živčani sustav, bubrege i krv (Wright et Welbourn, 2002). Olovo kao kadmij u ljudskim organizmima nastoji zamijeniti Ca, pa ga nalazimo u kostima, ali i u zubima. Trovanje olovom ima negativan utjecaj na središnji živčani sustav, a izloženost djece olovu u razdoblju do tri godine starosti rezultira smanjenjem kvocijenta inteligencije (Wright et Welbourn, 2002). Raspon koncentracija Pb u sjevernom panonskom dijelu Hrvatske kreće se od 15 mg/kg do 382 mg/kg, a srednja mu je vrijednost 34 mg/kg (Miko et al., 2001).

#### 3.4. Cink

Cink je jedan od mikronutrijenata, metal neophodan za ljudsko zdravlje, ali potencijalno opasan u prevelikim ili premalim dozama. U tlima na globalnoj razini koncentracije u tlima kreću se u vrlo širokom rasponu od 10 do 300 mg/kg (Kabata-Pendias et Mukherjee, 2007). Može biti apsorbiran na čestice minerala glina, Fe-Mn oksihidrokside, karbonate kalcija i magnezija, ali i na koloide u otopinama u tlu. U tlu se cink pojavljuje u obliku sulfida, oksida i silikatnih minerala. Cink je problematičan zbog relativno velike mobilnosti i redistribucije u tlu za razne mineralne i organske faze. Osnovnim izvorom zagađenja cinkom smatra se unos u atmosferu pri visokotemperaturnim tehnološkim procesima.

#### 3.5. Bakar

Bakar je jedan od esencijalnih element za život, no s druge strane je i vrlo toksičan, ovisno o koncentraciji. U tlima u prosjeku se koncentracije kreću između 20 i 30 mg/kg (Kabata-Pendias et Mukherjee, 2007). Bakar dolazi vezan na Fe-Mn oksihidrokside, MnO<sub>2</sub> i organsku tvar. Mobilnost mu je visoka kod pH 5.5, a slaba u alkalnoj i neutralnoj sredini. Upotreba modre galice kao fungicida u vinogradima i voćnjacima ima često za posljedicu sterilizaciju u površinskim horizontima tla (Wright et Welbourn, 2002). Postoje naznake da već i umjereno zagađenje tla može uzrokovati akutno trovanje kod djece zbog gutanja tla. Dugotrajniji unos količine veće od 200 mg dovodi do raznih simptoma poput konfuzije, mučnine, povraćanja, niskog krvnog pritiska, abnormalne funkcije bubrega i bolova u mišićima.



#### 3.6. Molibden

Molibden je jedan od važnih mikronutrijenata, odgovoran za rad triju važnih enzima, a to su aldehydoksidaze, ksantinoksidaze i sulfidoksidaze. Unos Mo u dječje organizme dopušten je u koncentracijama od 0,3 do 1,7 mg/dan (WHO/IPCS 2002). Trovanja ljudi sa Mo vrlo su rijetka, a višak Mo akumulira se u kosi, serumu i urei. Toksične nuspojave sastoje se od simptoma kao što su zaostalost u rastu djece u razvoju, gubitak tjelesne težine, anemija, oticanje zglobova i proljev. Ponašanje Mo u tlima razlikuje se od drugih elemenata u tragovima, u kiselim tlima (pH 4-5) je relativno nemobilan, dok u tlima sa pH > 6,5 je lako dostupan (Kabata-Pendias et Mukherjee, 2007).

#### 3.7. Antimon

Ne postoji puno podataka o toksičnosti Sb i njegovom utjecaju na okoliš i ljudsko zdravlje, ali upotrebljava se u raznim industrijama prvenstveno kao legura sa olovom. U tlima antimon je slabo mobilan te je čvrsto vezan uz minerale glina i oksihidrokside Fe, Mn i Al. Antimon je kumulativni toksin u ljudskom organizmu, dopušteni dnevni unos iznosi od 0,4 do 0,8 mg na dan (EPA i WHO). Smatra se da Sb utječe na niz bolesti te se smatra i kancerogenim.

#### 3.8. Srebro

Srebro je geokemijski slično Cu, ali u zemljinoj kori koncentracije Ag su 1000 puta niže. U tlima koncentracije Ag kreću se od 0,06 mg/kg do 0,4 mg/kg. Za urbana tla je važno jer se povišene koncentracije srebra u tlu pripisuju se antropogenoj aktivnosti. Zbog široke primjene od početka brončanog doba smatra se dobrim indikatorom antropogenih utjecaja (Kabata-Pendias et Mukherjee, 2007). Upravo iz tog razloga, srebro je jedan od elemenata izabran za usporedbu s magnetskim parametrima.

#### 3.9. Živa

Antropogena živa sveprisutna je u urbanom okolišu i ima veliki afinitet za akumulaciju u tlu. U tlu stvara niz anorganskih i organskih spojeva koje kontroliraju faktori kao što su temperatura, pH i količina organske tvari. Hg je izrazito toksičan element, a izvori onečišćenja su drvna industrija i industrija žive, gdje se koriste organski živini spojevi kao fungicidi, te kemijska industrija u kojoj se živa koristi kao katalizator (Wright et Welbourn, 2002). Anomalne koncentracije nađene su u urbanim tlima Zagreba i Varaždina (Miko et al., 2001). Budući da nizvodno uz Savu visine anomalija rastu, uočeno je da se zagađenje doneseno suspendiranim materijalom toka Save iz Slovenije dodatno obogaćuje urbanim i industrijskim utjecajem Zagreba.

#### 3.10. Geogeni elementi

Od geogenih elemenata, u ovom diplomskom radu, izabrani su željezo, aluminij, kalcij, natrij i uran. Koncentracija ovih elemenata u tlima je posljedica koncentracije u stijenama koje čine matični supstrat iz kojeg su razvijena tla. Oni igraju važnu ulogu u geokemijskim procesima vezanim za ponašanje pojedinih teških metala. Čvrstoća vezivanja i biodostupnost je nama važnih teških metala je ovisna o čvrstoći vezivanja elemenata za pojedine mineralne faze, a dominacija istih vidljiva je iz koncentracija pojedinih geogenih elemenata Fe (hidroksidi), Al (minerali glina), Ca (karbonatni minerali, kalcit i dolomit).

## 4. Veza magnetizma i geokemije

Zagađenje tla, voda i zraka teškim metalima smatra se jednim od faktora sa najštetnijim utjecajem na ekosustave. Postoji veliki interes znanstvenika za praćenjem kemije, biogeodinamike i biopristupačnosti teških metala u okolišu, pogotovo u smislu monitoringa i prevencije štetnih posljedica. Osim antropogenog unosa teških metala u okoliš i ekosustave, treba voditi računa i o prirodnim pozadinskim vrijednostima tih metala prisutnih u okolišu. Da bi se dobili pouzdani i točni podatci o toj razlici, potrebne su vrlo detaljne, skupe i vremenski zahtjevne geokemijske analize i monitoring. Upravo ta problematika rezultirala je razvojem monitoringa magnetskih čestica, kao indirektno metode. U radovima mnogih znanstvenika, ustanovljena je veza između industrijskih magnetskih minerala i teških metala.

Magnetske čestice mogu biti povezane s teškim metalima na dva načina: ili metali vezani u strukturu magnetskih minerala tijekom procesa industrijskog izgaranja ili se teški metali mogu adsorbirati na površine magnetskih minerala nakon njihovog formiranja (Kumar Das, 2014).

Magnetski Fe oksidi antropogenog izvora nastaju pretvorbom željezovitih nečistoća iz industrijskih sirovih materijala i fosilnih goriva prilikom procesa izgaranja. Čestice nastale izgaranjem fosilnih goriva izuzetno su magnetične. Konkretno, čestice nastale izgaranjem ugljena bogate su magnetitom i hematitom (Flanders, 1994). Osim izgaranja fosilnih goriva (ugljen i nafta), još jedan važni antropogeni izvor magnetskih čestica je industrija željeza i čelika. Te magnetske čestice nastaju brzim hlađenjem Fe-Si kapljica, što rezultira karakterističnom sferičnom morfologijom čestica. Sama veličina čestica varira od sub-mikrometarskih do mikrometarskih dimenzija. Drugi važni izvor antropogenih magnetskih čestica je promet. Tako nastale čestice su, po morfologiji, oštre/kutne, a nastaju trenjem automobilskih ispuha. Veličina zrna najčešće je u rasponu 0,1 do 0,7  $\mu\text{m}$  (Petrovsky et Ellwood, Chapter 8, Maher et Thompson, 1999). Upravo te veličine čestica predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje prilikom udisanja. Koncentrirane su u uskoj zoni oko prometnica sa maksimalnim vrijednostima do 5 metara i postupnim smanjenjem koncentracije u sljedećih

20 do 25 metara (Petrovsky et Ellwood, Chaper 8, Maher et Thompson, 1999). U toj uskoj zoni, ljudi, biljke i životinje izloženi su visokoj koncentraciji magnetskih čestica udisajem.

Unošenje tako nastalih magnetskih čestica u tlo, vegetaciju ili sedimente rezultira visokim magnetskim odzivom. Nakon unošenja u okoliš, te magnetske čestice asociraju se s teškim metalima, koji mogu biti prisuti kao posljedica antropogenih ili geogenih procesa. Razna istraživanja bavila su se adsorpcijom, adsorpcijom i vezanjem teških metala za magnetske čestice. Elrashidi et O`Connor (1982) i Goldberg et Glaubig (1985) pokazali su vezu adsorpcije bora na hematit, getit i amorfnе željezovite okside u odnos na pH. Adsorpcija bora raste s porastom pH, do maksimalne adsorpcije na približno pH 7-8. Rodda et al. (1993) dokazali su da porastom temperature, u rasponu od 10 do 70 stupnjeva Celzijevih, raste adsorpcija bakra, cinka i olova na getit. Barrow et al. (1993) proučavali su efekte površinske heterogenosti čestica željezovitih oksida na ionsku adsorpciju. Cornell (1991) pokazuje da čak do 15% Fe mjesta u strukturi getita može biti zamijenjeno metalima kao što su mangan, nikal ili kobalt. Magnetit, u određenim pH i redoks uvjetima, može postati nosioc olova, prema istraživanjima Georgeaud et al. (1997). Sva ova, a i mnoga druga istraživanja, jasno ukazuju na vezu između željeznih oksida, geogenog ili antropogenog podrijetla, i teških metala, te se ta veza može koristiti kao traser koncentracije teških metala (Kumar Das, 2014). Prednost ovakvog pristupa je u brzini, niskim troškovima, mogućnosti istovremene analize velikog skupa podataka, ponavljanju mjerenja i nedestruktivnosti same metode. Ipak se, pri korištenju magnetskih parametara za mapiranje i monitoring teških metala, treba obratiti pozornost na par stvari:

- magnetski minerali nastali antropogenim aktivnostima moraju biti znatno veći, ili barem jasno različiti, od pozadinske vrijednosti magnetskih minerala geogenog izvora (trošenje, pedogenetski procesi)
- mora postojati veza između povišene koncentracije magnetskih čestica i teških metala
- procesi kao što su transport, taloženje i/ili post taložne promjene mogu znatno utjecati na rezultate

## 5. Opis istraživanog područja

### 5.1. Geografski položaj i povijesni razvoj Zagreba

Zagreb je glavni grad Republike Hrvatske, naš najveći grad te upravno, gospodarsko, kulturno, prometno i znanstveno središte Hrvatske. Sam grad je posebna teritorijalna, upravna i samoupravna jedinica koja ima položaj županije. Geografski položaj Grada Zagreba prikazan je na Slici 5.1. Nalazi u kontinentalnoj središnjoj Hrvatskoj, na južnim obroncima Medvednice te na obalama rijeke Save. Grad je smješten na jugozapadnom kutu Panonske nizine, između alpske, dinarske, jadranske i panonske regije što ga čini prometnim čvorištem putova između Srednje i Jugoistočne Europe te Jadranskog mora.



Slika 5.1. Geografski položaj Zagreba i Siska

([https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatske\\_%C5%BEupanije](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatske_%C5%BEupanije), preuzeto 20.04.2017)

Službena povijest Zagreba počinje se brojati od 1094. kada je osnovana Zagrebačka biskupija iako je za središte biskupije odabrano se već postojeće naselje. Toj činjenici idu u prilog i arheološki nalazi iz starohrvatskih grobova: nakit koji se pojavljuje od 8. do 11. stoljeća (Kampuš et Karaman, 1994). Taj se dio Zagreba danas naziva Kaptolom, a naseljavali su ga biskupi, svećenici, obrtnici, trgovci. Paralelno s biskupskim Zagrebom postojalo je naselje svjetovnjaka, Gradec. Ova su dva naselja bila odvojena potokom Medveščakom. Stanovnici Gradeca uglavnom su se bavili obrtom i trgovinom, a posebne su povlastice stekli Zlatnom bulom koju je Gradecu 1242. darovao kralj Bela IV (Kampuš et Karaman, 1994).

Pravno ujedinjenje naselja događa se 1850 godine. Tek su otada Gradec, Kaptol i njihova podgrađa jedinstveni grad. U to se vrijeme gradi i novi dio, po mnogima danas najljepši dio Zagreba – Donji grad. Vrlo je značajan događaj za Zagreb bio prolazak željezničke pruge 1862. (Zidani Most – Sisak). Kad je grad prolaskom još jedne pruge (Budimpešta – Koprivnica – Rijeka) postao i željezničko križanje, počeo je vrlo brzi razvoj industrije u njemu (Kampuš et Karaman, 1994). Industrija je trebala radnu snagu, a to je dovelo do demografske eksplozije grada. Nastale su radničke četvrti Trnje, Trešnjevka i mnoge druge.

1960-tih grad je imao dovoljno financijske snage za izgradnju sustava obrane od savskih poplava i prelazak Save. Na desnoj obali je izgrađen Novi Zagreb koji danas ima oko 114 000 stanovnika. Zagrebačka aglomeracija danas je najveće urbanizirano područje u krugu polumjera 400 kilometara (Kampuš et Karaman, 1994). Do posljednje četvrtine 19. stoljeća Zagreb je bio administrativno, trgovačko i obrtničko središte. Industrijalizacija je odigrala ključnu ulogu u prerastanju Zagreba u regionalni privredni centar. Intenziviranje procesa industrijalizacije odvijalo se na prijelazu 19. u 20. stoljeće, u razdoblju između dva svjetska rata i nakon 1945. godine.

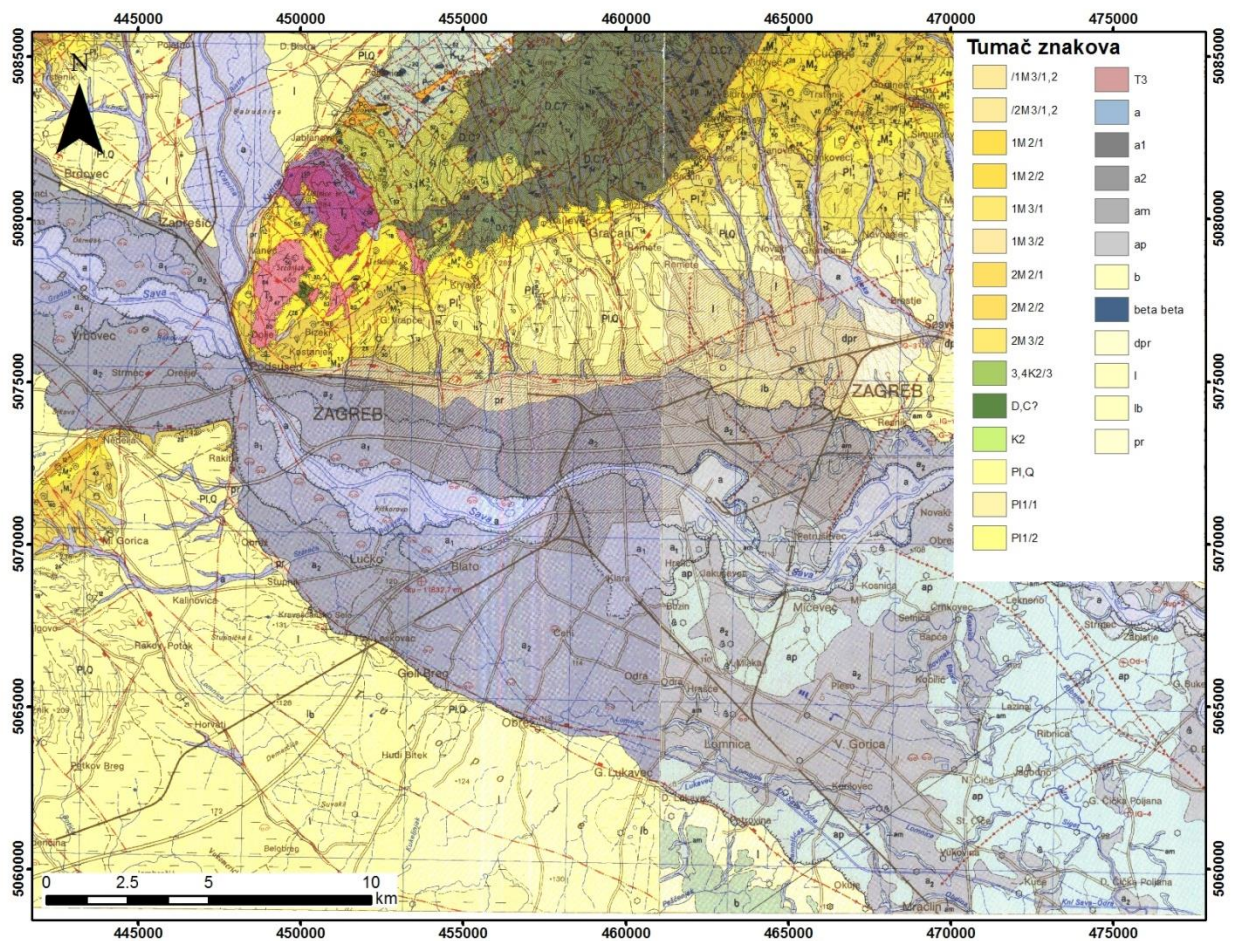
### 5.2. Geološka obilježja Grada Zagreba

Geološka građa grada Zagreba preuzeta je iz Osnovne geološke karte 1:100 000 – list Zagreb L 33-80 (Šikić et al., 1972) (Slika 5.2.) i Tumača Osnovne geološke karte za list Zagreb L 33-80 (Šikić et al., 1972). Pri izradi rada, izdvojene su samo one jedinice unutar kojih se nalaze promatrani vrtići grada Zagreba, te su one u nastavku opisane.

## 5. Opis istraživanog područja

Morfološki, teren se može podijeliti na tri cjeline:

- planinsko područje → sadrži predtercijarne stijene
- planinsko pribrežje → sadrži tercijarni sediment, do apsolutne nadmorske visine od 300 m, čini rubni dijelovi Medvednice
- nizinsko zaravnjeno područje → sadrži pleistocenski sediment i holocenske riječne nanose, čini ga riječna dolina Save te predstavlja područje najveće naseljenosti



Slika 5.2. Isječak Osnovne geološke karte – list Zagreb 1: 100 000 (Šikić et al., 1972)

### 5.2.1. Neogen

Donji panon ( ${}^1M^{1,2}_3$ ) izdvojen je na jugoistočnim padinama Medvednice, a čine ga bijeli laporoviti vapnenci. Gornji panon ( ${}^2M^{1,2}_3$ ) također je izdvojen na jugoistočnim padinama Medvednice. Naslage gornjeg panona čine Banatica naslage, izgrađene od različitih vrsta lapora. Donji pont ( $PI_1^1$ ), kao i panon, izdvojen je na jugoistočnim padinama Medvednice. Naslage donjeg ponta čine gotovo isključivo abichi naslage, odnosno lapori i laporovite gline tipični za mirnije dijelove sedimentacijskog prostora. Gornji pont ( $PI_1^2$ ) također je izdvojen na jugoistočnim padinama Medvednice. Naslage čine nevezani pijesci ili pjeskoviti i/ili glineni lapori. U kontinuiranoj seriji panona i ponta uočava se postupno smanjenje karbonatne komponente naviše, pa laporoviti vapnenci donjeg panona postupno prelaze u lapore gornjeg panona, te na kraju u glinovite, slabo uslojene lapore donjeg ponta i pjeskovite lapore gornjeg ponta. Zbog sličnosti u litologiji, uzorci donjeg i gornjeg panona uzeti su u kategorizaciji kao jedinstvena kategorija **panon/pont**.

Donji pleistocen (**PI, Q**) čine slatkovodne, levantske naslage, odnosno slatkovodni fluvijalno-jezerski sedimenti molasnog tipa. Naslage su karakterizirane izmjenom pijesaka, šljunaka i gline. Gline se javljaju kao tanki prosljoci ili leće, šljunci su tipično nesortirani, a pijesci sadrže određenu količinu silta i/ili glinovite komponente.

### 5.2.2. Kvartar

Prema korištenom Tumaču, kvartarne naslage prekrivaju 460 km<sup>2</sup> površine lista Zagreb, a dijele se na pleistocenske i holocenske naslage. Najviše točaka iz ovog diplomskog rada nalazi se upravo na holocenskim naslagama.

Barski les (**Ib**) pripada pleistocenu, a nastao je nasipavanjem lesa u bare na području današnje doline Save. Naslage čini visoki postotak silta, a kao posebna kategorija je izdvojen zbog visokog postotka kalcijevog karbonata, koji se kreće 9-24%. Kopneni beskarbonatni les (**I**) također pripada pleistocenu, a čine ga sedimenti lesnog podrijetla koji su pretrpjeli pedogenetske promjene. Kao i beskarbonatni les, naslage sadrže visoki postotak silta i gline, ali za razliku od gore spomenutog lesa, kopneni les karakterizira vrlo niski postotak karbonata.



Aluvijalni nanosi prve i druge savske terase, proluvij i aluvijalni nanosi recentnih tokova Save svi pripadaju holocenu, a nastali su (osim proluvija) usijecanjem rijeke Save u svoje korito. Aluvijalni nanosi druge savske terase (**a<sub>2</sub>**) čini izmjenu krupnozrnatih šljunka i pijeska. U smjeru toka Save (SZ-JI) postupno se povećava količina pijeska. Valutice šljunka dobro su zaobljene, heterogenog petrografskog sastava, od karbonata do rožnjaka, kvarcita, eruptiva i pješčenjaka. Aluvijalne nanose prve savske terase (**a<sub>1</sub>**) čini krupnozrnati šljunak, mjestimično pomiješan s pijeskom, dok su proslojci čistog pijeska rijetki. Mineralni sastav valutica šljunka slična je kao i u aluvijalnim nanosima druge savske terase. Proluvij (**pr**) nalazi se na južnim i zapadnim padinama Medvednice, a naslage čini krupnozrnati slabo zaobljeni šljunka, pomiješan s pijeskom i glinom. Zadnja izdvojena jedinica su aluvijalni nanosi recentnih tokova Save (**a**), a čine ga sedimenti neposredno uz rijeku Savu. Prevladava krupnozrnati pijesak. Deluvij i proluvij (**dpr**) čine uske izdužene nakupine materijala u podnožju morfoloških uzvišenja. Debljina sedimenata ne prelazi 10 metara, a litološki je u uskoj vezi sa sastavom stijena u neposrednoj okolini. Zbog kratkog transporta i višestrukog obnavljanja procesa erozije i resedimentacije, naslage su najčešće vrlo kaotične. Najčešće se ovi sedimenti sastoje od zaglinjenih siltova i pijesaka, odnosno pretaloženih pliocenskih sedimenata.

### 5.3. Pedološka obilježja tla Grada Zagreba

Grad Zagreb geomorfološki spada u gornji dio Posavlja, između rijeke Save i Odre, te rastresitog kanala Sava-Odra. Podatci o tipu tla preuzeti su s Pedološke karte Republike Hrvatske, te su prikazani na Tablici 5.1. Tla urbanog područja Grada Zagreba nisu kartirana u sklopu izrade Pedološke karte.

Tablica 5.1. Izdvojene kartirane jedinice tla za tla vrtića Grada Zagreba

<b>Kod</b>	<b>dominantna kartirana jedinica tla</b>	<b>broj točaka</b>	<b>dominantni način vlaženja</b>
999	veće naselje	161	
3	eutrično smeđe	1	semiglejni
5	aluvijalno (fluvisol) obranjeno od poplava	16	semiglejni
17	rendzina na laporu i mekom vapnencu	4	automorfni
28	psuedoglej obronačni	5	pseudoglejni
43	močvarno glejna, djelomično meliorirana	3	amfiglejni i hipoglejni
62	vapneno dolomitna crnica	4	
65	močvarno glejno vertično	1	epiglejni

Od kartiranih jedinica, jedino rendzina spada u automorfna tla koje karakterizira vlaženje isključivo oborinskom vodom, pri čemu nema pojave prekomjernog vlaženja. Sva druga tla na istraživanom području karakterizirana su hidromorfnim vlaženjem, odnosno pojavom prekomjernog vlaženja suvišnom podzemnom, poplavnom ili stagnirajućom vodom.

### 5.4. Geografski položaj i povijesni razvoj Siska

Grad Sisak smješten je u Središnjoj Hrvatskoj i djeluje kao administrativno sjedište površinom najveće hrvatske županije, Sisačko-moslavačke županije. Područje čini prirodnu poveznicu između podunavsko-panonskog nizinskog kraja i krškog dinarskog prostora.

Županija se može podijeliti u tri geografske cjeline:

- gorska područja (područja Zrinske, Trgovske, Petrove te dijelova Moslavačke gore)
- brdskobrežuljkasta područja (Banovina, Moslavina, Vukomeričke gorice i Psunj)
- područja riječnih dolina, terasa i naplavnih ravni (ravnice Posavine i Pokuplja).

Grad Sisak je smješten na utocima rijeka Odre u Kupu i Kupe u Savu na aluvijalnim sedimentima otprilike 100 m nadmorske visine. Razina podzemne vode relativno je visoko, svega 2 do 4 metra ispod površine (Njegač, 2002). Geografski položaj Grada Siska prikazan je na Slici 5.1.

Tijekom hrvatske povijesti, Sisak se isticao kao jedan od industrijskih i trgovačkih centara države. Prema službenim stranicama grada, u području grada površine 422,75 km<sup>2</sup> naseljeno je 52 233 stanovnika u 35 samostalnih naselja, dok uže područje grada naseljava 37 491 stanovnika. Urbani razvoj ovog područja može se pratiti više od 2 000 godina, čineći Sisak jednim od najstarijih naseljenih područja ove regije. Kontinuirani razvoj grada može se pratiti kroz njegove razne nazive tijekom povijesti i u raznim povijesnim zapisima: Segesta, Segestica u predrimskom razdoblju, Siscia za vrijeme Rimskog Carstva, Siscium u ranom srednjem vijeku, Sissek, Sziszek, Sciteck, Zysek, Sziscium, Scytzyc, Zitech, Scyteck, Sziszak pa sve do hrvatskog modernog imena Sisak.

Sam grad nalazi se na rijeci Kupi, koja ga je do sredine 19. stoljeća dijelila na dva naselja, a uvođenjem urbanističke sistematizacije 1829. godine, dva naselja se spajaju i razvija se današnji moderni Sisak na ostacima antičke Siscie. Upravo zbog položaja na plovnoj rijeci, Sisak ubrzo postaje važan grad u riječnoj prometu i trgovini, a nešto kasnije i željezničkom transportu. Daljnje osnaživanje grada Sisak temelji se na jačanju riječnog tranzita, brodogradnji i turizmu.

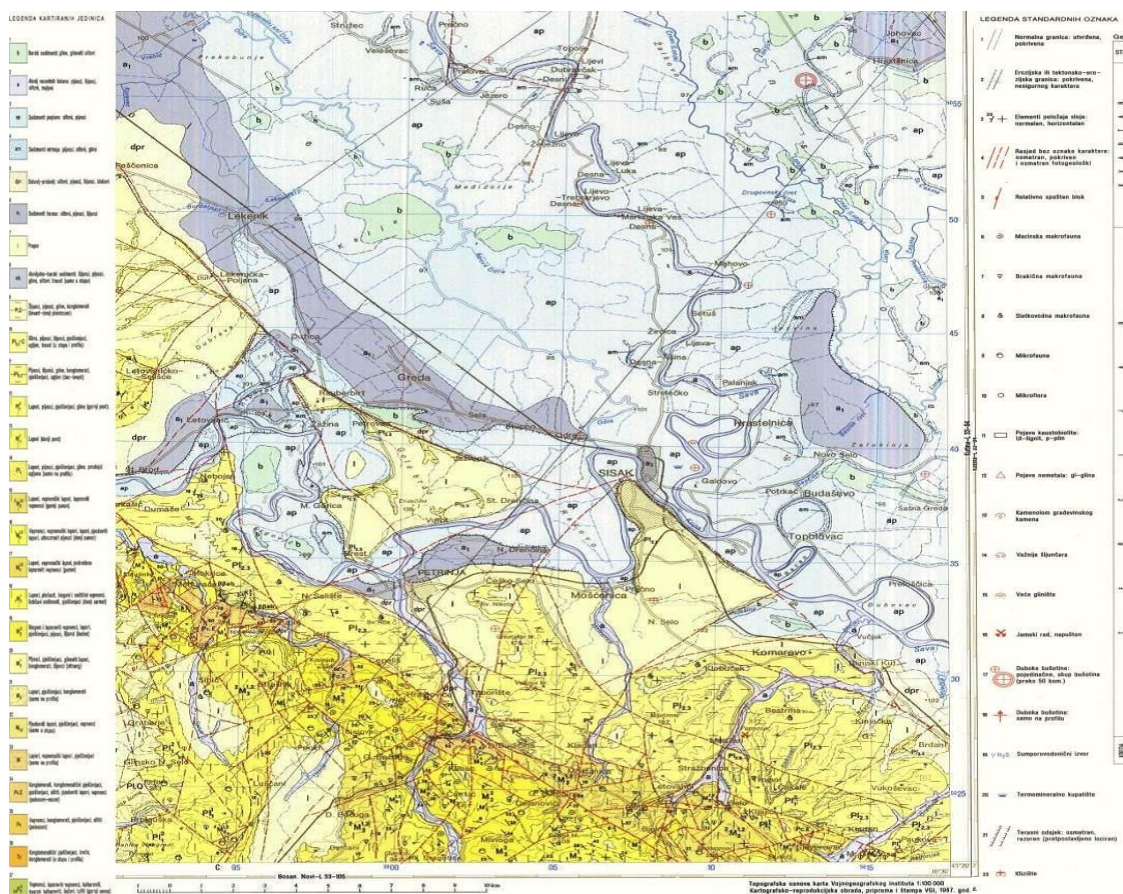
20. stoljeće, preciznije između dva Svjetska Rata, označava period industrijskog razvoja grada. Prema podacima Državnog zavoda za statistiku, u periodu od 1920. do 1931. broj stanovnika grada se više nego udvostručio. Kao najvažnije industrije u gradu treba istaknuti Rafineriju nafte Sisak, Željezaru Sisak, Segestica d.o.o. (tvornica alkoholnih i bezalkoholnih pića), Herbos d.o.o. (tvornica kemijskih proizvoda, umjetnih gnojiva i

pesticida), HEP- Termoelektrana Sisak, Mlin i pekare d.o.o. Sisak te Dunavski Lloyd (najveći hrvatski riječni brodar). Uz modernu industriju, važno je napomenuti i kovnicu novca iz 3. Stoljeća, za vrijeme Rimskog Carstva.

Na području grada Siska aktivno rade dva vrtića – Sisak Stari i Sisak Novi. Između sebe imaju ukupno 9 lokacija dječjih vrtića, od kojih dvije lokacije dijele jedno vanjsko igralište. Unutar Sisak Starog su vrtići Ciciban, Bubamara, Pčelica, Potočnica i Različak, a unutar Sisak Novog vrtići Maslačak, Radost, Sunce i Tratinčica.

### 5.5. Geološka i pedološka obilježja Grada Siska

Geološka građa Siska preuzeta je iz Osnovne geološke karte 1:100 000 – list Sisak L 33 - 93 (Piktija, 1987a) (Slika 5.3.) i Tumaču Osnovne geološke karte za list Sisak L 33 – 93 (Piktija, 1987b).



Slika 5.3. Isječak Osnovne geološke karte – list Sisak 1: 100 000 (Piktija, 1987a)

Grad Sisak smješten je na jugozapadnom dijelu Panonskog bazena. Sisačko-moslavačka županija, u širem geološkom smislu, podijeljena je rasjednom zonom na dvije tektonske jedinice:

- Savska potolina → karakterizirana klastitima, laporima i paludinskim naslagama sačinjenim od pijesaka, šljunaka, glina i proslojaka ugljena. Ovoj tektonskoj jedinici pripada i samo područje Grada Sisak. Najvećim dijelom to su naslage holocenske i kvartarne starosti nastale kao rezultat fluviodenudacijskih aktivnosti rijeka. Poplavna ravnica Save većinom se sastoji od karbonata, dok su poplavne ravnice Kupe i Odre karakterizirane siliciklastima. Meandar rijeke Kupe pokriven je lesom (Šorša et al, 2015).
- Kredno-tercijarni pojas → karakteriziran karbonatnom sedimentacijom. Podlogu čine metamorfne stijene najvjerojatnije nastale tijekom hercinske orogeneze karakterizirane različitim tipovima škriljavaca i metamorfoziranim eruptivima.

Prema pedološkoj karti, na širem istraživanom području zastupljena su većinom hidromorfna tla i jedno automorfno tlo. Od hidromorfnih tala, razvijene su klase pseudoglejnih, nerazvijenih, semiglejnih i glejnih tala (Šorša, 2014). Međutim u sklopu izrade Pedološke karte područja, nisu kartirana tla unutar urbanog područja Grada Siska.

## 6. Materijali i metode

### 6.1. Uzorkovanje

Uzorci su prikupljeni u dva navrata. Uzorci tla vrtića Zagreba prikupljeni su u sklopu studije izrade bonietne karte područja Grada Zagreba temeljene na koncentracijama potencijalno toksičnih elemenata u urbanim tlima. Studiju je proveo Hrvatski Geološki Institut 2008. pod financiranjem poglavarstva Grada Zagreba. U sklopu izrade studije prikupljeni su površinski i dubinski uzorci prema protokolima ISO 10381-1:2002 i ISO 10381-2:2002: Kakvoća tla- Uzorkovanje- Dio 2: Vodič o tehnikama uzorkovanja. Površinski (0-5 cm) i dubinski uzorci (30-40 cm, uzeti augerom) prikupljeni su za 200 lokacija po Gradu Zagrebu. U sklopu studije napravljena je geokemijska analiza 36 elementa, a u ovom radu korišteni su podatci za samo 11. Na Slici 6.3. prikazane su lokacije uzorkovanja tla vrtića Grada Zagreba. Ti isti uzorci bili su mi ustupljeni za korištenje pri izradi ovog diplomskog rada, od strane Hrvatskog Geološkog Instituta. Prema istim protokolima prikupljeni su i uzorci tla dječjih igrališta grada Siska u listopadu 2016. godine. Sam Grad Sisak ima 8 lokacija dječjih vrtića, prikazanih na Slici 6.2.

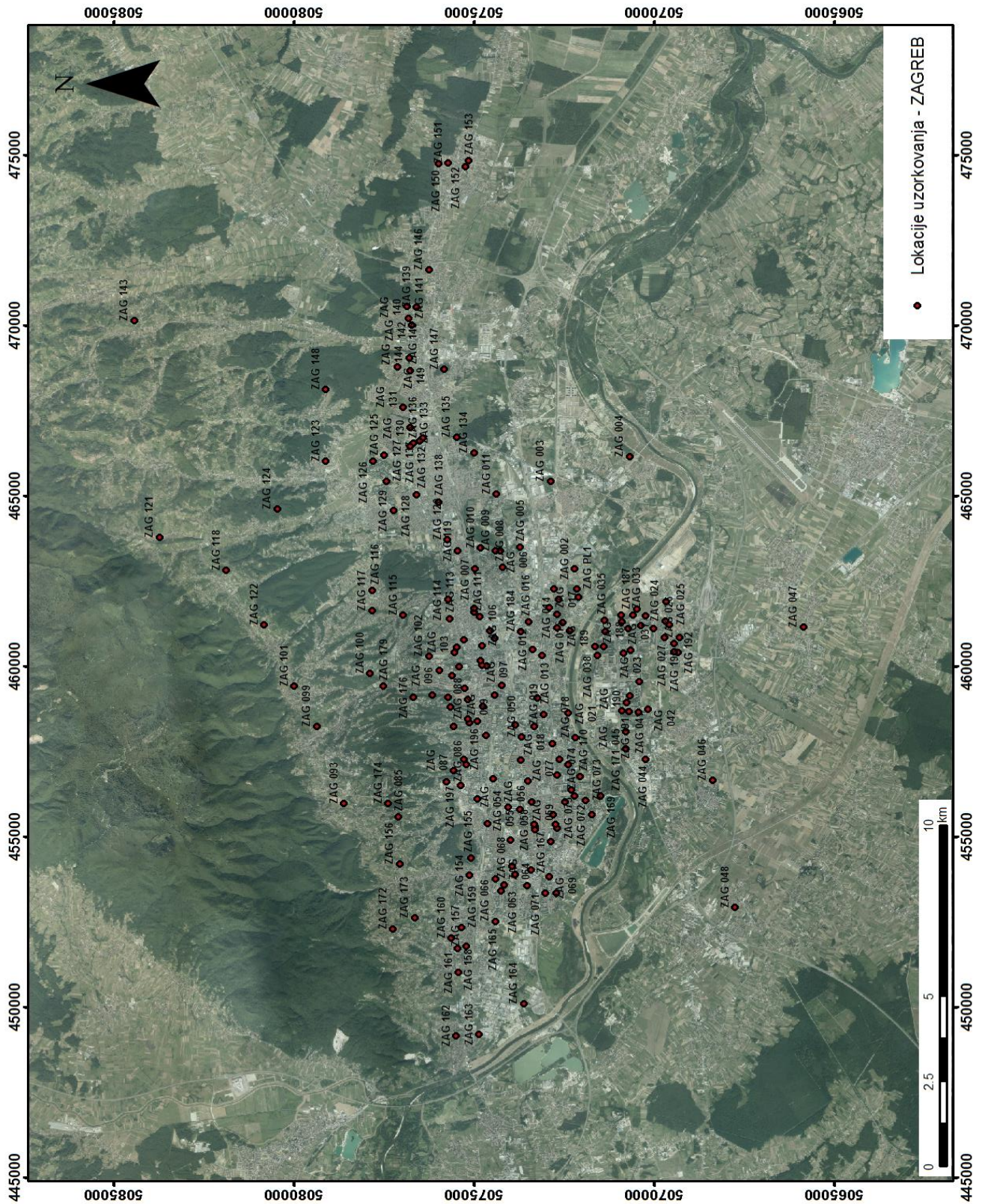


Slika 6.1. Uzorkovanje a) površinskog i b) dubinskog horizonta

Na svakoj lokaciji uzeto je pet površinskih uzoraka, od kojih je kasnije rađen kompozit, te jedan dubinski uzorak. Na terenu, svaki uzorak pakiran je u posebne PVC vrećice sa odgovarajućom oznakom i lokacijom, kao što je prikazano na Slici 6.1. Okvirno je za svaku točku uzeto oko pola kilograma uzorka. Prema preporukama priručnika za onečišćenje tla (AZO, 2006) odabrana je metoda „raspodjele slučajnih brojeva točaka uzorkovanja“. Konačni broj uzoraka iznosio je 365, od čega je 16 uzoraka iz Siska, a 349 iz Zagreba.



Slika 6.2. Karte lokacija uzorkovanja tla vrtića Grada Siska



Slika 6.3. Karta lokacija uzorkovanja ta vrtića Grada Zagreba



## 6.2. Priprema uzoraka

Nakon dopremanja u laboratorij Hrvatskog Geološkog Instituta, svi uzorci su osušeni na 45 stupnjeva Celzijevih do potpunog gubitka vlage. Nakon toga, uzorci su prosijani sitima na 2 mm i pakirani u papirnate vrećice s odgovarajućim oznakama.

Dio uzorka, okvirno oko 10 grama, posebno je izdvojen i dopremljen na fakultet u Utrechtu, paleomagnetski laboratorij Fort Hoofddijk. Paleomagnetska mjerenja izvršen su uz mentorstvo dr. M.J. Dekkers. Radi jednostavnosti rukovanja prahom i smanjenja mogućnosti kontaminacije i prljanja raznih korištenih uređaja, uzorci su dalje pripremljeni. U posebno označene PVC čašice odvagano je okvirno 3 grama uzorka, pomiješano sa dvokomponentnim ljepilom (poxy raisin) i ostavljeno da se stvrdne u roku 24 h (Slika 6.4.).



Slika 6.4. Uzorci pripremljeni sa smolom

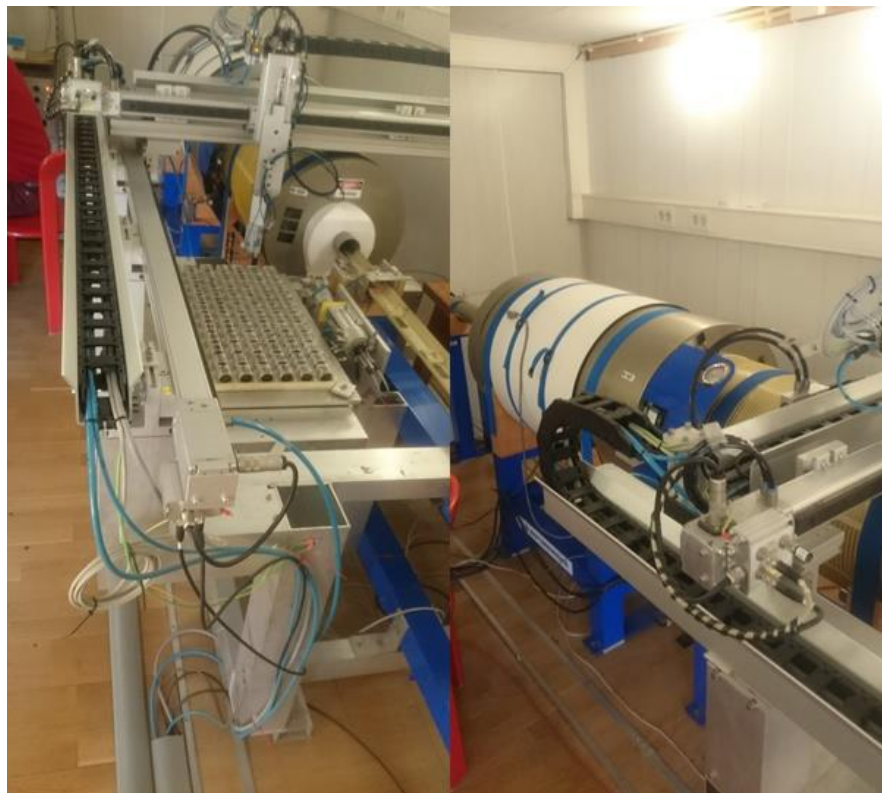
Na taj način dobiveni su uzorci istog volumena, poznate mase i puno lakši za samo rukovanje. Samo dvokomponentno ljepilo dobiva se miješanjem smole i očvršćivača u omjeru 2:1, a po svojim karakteristikama je dijamagnetična i na taj način ne utječe na rezultate mjerenja magnetskih parametara uzorka (Slika 6.5.). Tako pripremljeni uzorci koristili su se dalje u svim magnetskim mjerenjima.



Slika 6.5. Smola i očvršćivač

### 6.3. Opisi rada i specifikacije uređaja

Nakon pripreme uzoraka, krenula su magnetometrijska mjerenja. Prvo se mjerio magnetski susceptibilitet na dva uređaja: starijem KAPPABRIDGE KLY-2 i novijem MFK1-FA. MFK1-FA magnetometar mjerio je ukupni (*bulk*) susceptibilitet uzorka na frekvenciji od 976 Hz. Raspon polja bio je od 2 do 702 A/m, a *peak field* iznosio je 200 A/m. Uređaj se prvo kalibrirao standardom. Nakon kalibracije, sama mjerenja su izuzetno brza. Most uređaja se automatski izjednači s nulom prije unosa svakog uzorka. Uzorak se postavi u plastični dijamagnetični držač, spusti u stroj, te se pokrene mjerenje koje traje svega par sekundi. Izlazni signal, tj. mjereni susceptibilitet, se povećava, filtrira i digitalizira automatski. Senzibilnost uređaja je izuzetno visoka, iznosi oko  $2 \times 10^{-8}$  (SI). Radi smanjenja rada stroja i ubrzanja postupka mjerenja, izabrano je 48 parova, odnosno 96 uzoraka tla površinskog i dubljeg horizonta. Na tih 48 parova napravljena su daljnja detaljnija mjerenja nego na ostalim uzorcima. Sistem odabira uzoraka za detaljniju analizu svodio se na promatranje rezultata dobivenih za magnetski susceptibilitet i uzimanjem presjeka vrijednosti, od niskih do izuzetno visokih.



Slika 6.6. Robotizirani uređaj 2G DC

Sva remanentna magnetizacija mjerena je na robotiziranom uređaju 2G DC, prikazanog na Slici 6.5. Prednost ovog uređaja je da sam okreće i mjeri uzorke automatski u sve tri (x,y i z) osi, čime se smanjuje vrijeme potrebno za mjerenje i mogućnost da instrument radi sam bez nadzora. Prvo je mjerena ARM (anhisterezijaska remanentna magnetizacija). 48 detaljnih parova mjereno je na četiri stupnja, odnosno na četiri vrijednosti izmjeničnog polja : 0,15,60 i 100 mT, dok su svi ostali uzorci mjereni na vrijednostima 0,60 i 100 mT. Direktno polje namješteno je na 100  $\mu$ T.

Zatim su uzorci demagnetizirani prije mjerenja IRM (izotermalne remanentne magnetizacije). Uzorci su demagnetizirani u smjeru sve tri osi: x,y i z osi na polju jačine do 300 mT koje se postupno spuštalo. Nakon demagnetizacije, mjerena je IRM također na robotiziranom 2G DC uređaju. 48 odabranih parova mjereno je na 61 stupnjeva jačine polja, od 0 do 700 mT, dok su svi ostali mjereni na samo pet stupnjeva; 0, 60,100, 300 i 700 mT.

#### 6.4. Statistička obrada podataka

Najveći dio statističke obrade i metoda korištenih u radu izvršio se u programu Statistica 12, a manji dio unutar Microsoft Office Excela. Tokom izrade ovog diplomskog rada izvršene su brojne statističke obrade velike količine podataka radi njihovog lakšeg prikazivanja i boljeg razumijevanja, od kojih su neke uvrštene u završnu verziju rada. Od numeričke statistike izrađena je:

- elementarna statistička obrada magnetskih parametra (minimum i maksimum (*najniža i najviša vrijednost varijable unutar skupa uzoraka*); raspon (*razlika maksimuma i minimuma*); geometrijska sredina (*n korijen iz umnoška između N brojeva ili eksponent sume njihovih logaritama*); standardna devijacija (*srednje kvadratno odstupanje od srednje vrijednosti i normalno distribuirane varijable, najčešće korištena mjera rasipanja vrijednosti*)

- korelacijske matrice između elemenata i magnetskih parametara (x, SIRM, SIRM/x, ARM/SIRM) posebno za uzorke površinskih i posebno za uzorke dubljih horizonata. Iz tako napravljenih korelacijskih matrica izdvojene su korelacijski koeficijenti u dvije grupe: **dobri** (između 0,5 i 0,7, te između -0,5 i -0,7) i **izuzetno dobri** (više od 0,7 i manje od -0,7).

Od grafičkih prikaza statističkih analiza izrađeni su:

- IRM grafovi po svakoj kategoriji, posebno za uzorke površinskih i dubinskih horizonata
- kategorizirani box-whiskers dijagrami za magnetske parametre (x, SIRM, ARM100,SIRM/x) prema podjelama (crvene oznake predstavljaju površinske, a zelene dubinske horizonte)
- kategorizirani dijagrami raspršenja (scatter dijagrami) sa magnetskim parametrima i geokemijskim podacima koncentracija najizraženijih elemenata
- aritmetička sredina s rasponom greške (crvene oznake predstavljaju površinske, a zelene dubinske horizonte)

Od multivarijatne statistike korištena je klaster analiza, statistička tehnika koja se može koristiti pri interpretaciji podataka da se pojačaju suptilne ali značajne veze među varijablama:

- faktorska analiza r-modaliteta → pokazuje sličnost između parametara, za povezivanje parametara korištena je Ward-ova metoda, a kao mjera udaljenosti 1-Pearson r

## 7. Rezultati

Radi lakšeg uspoređivanja parametara i donošenja zaključaka, uzorci tla vrtića Grada Zagreba podijeljeni su prema dvije podjele u kategorije. Prva podjela odnosi se na geološku građu područja. Unutar te podjele izdvojene su litološke jedinice unutar kojih su točke uzrokovanja. Podjela prema geološkoj građi unutar sebe ima 9 litoloških jedinica: panon/pont, Pl,Q, lb, l, dpr, pr, a<sub>1</sub>,a<sub>2</sub> i a. Svaka litološka jedinica zasebno je objašnjena u poglavlju o geologiji istraživanog područja. Druga podjela odnosi se na podjelu grada prema granicama kakve je grad imao 30-ih godina prošlog stoljeća u dvije kategorije: stari povijesni grad do 1932. godine i grad od 1932. do danas, čije su granice prikane na Slici 7.26.

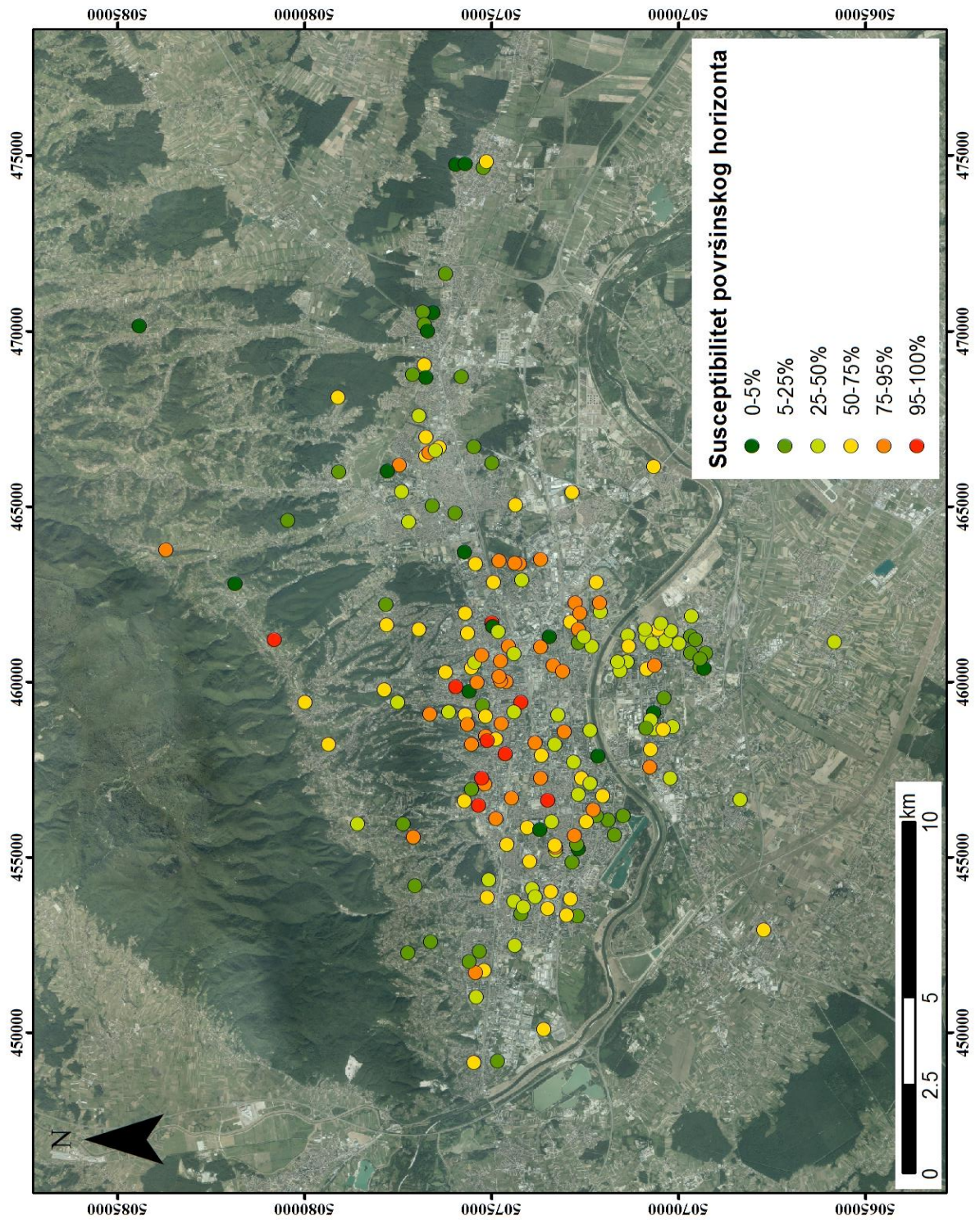
U Tablicama 7.1. i 7.2. nalaze se rezultati osnovne statističke obrade uzoraka redom za površinske pa zatim za dubinske uzorke. Srednje vrijednosti svih magnetskih parametara su veće za dubinske uzorke u odnosu na površinske, što je pogotovo izraženo za SIRM i ARM parametre te nešto manje za susceptibilitet i SIRM/x. Isto vrijedi i za medijan. Iz toga generalno možemo reći da su unutar profila veće koncentracije magnetskih minerala i/ili dolazi do promjene veličine zrna nosioca magnetskog odgovora. Sljedećih šest slika (7.1.-7.6.) predstavlja grafički prikaz mjerenih osnovnih magnetskih parametara, redom susceptibilitet, ARM i SIRM, prvo za površinske, a zatim za dubinske uzorke. Kategorije na kartama dobivene su statističkom obradom podataka po percentilima u šest kategorije: 0-5%, 5-25%, 25-50%, 50-75%, 75-95%, 95-100%.

Tablica 7.1. Osnovna statistička obrada točaka površinskog horizonta

	<b>Broj točaka</b>	<b>Sredina</b>	<b>Medijan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Std.Dev.</b>
<b>ARM100</b> (pAm <sup>2</sup> /kg)	194	-5,622349E+07	-4,288736E+07	-5,387178E+08	6,445775E+06	4,826486E+07
<b>x</b> (m <sup>3</sup> /kg)	194	1,081350E-07	7,995344E-08	3,098518E-08	1,068088E-06	9,560423E-08
<b>SIRM</b> (pAm <sup>2</sup> /kg)	186	4,767644E+09	2,862446E+09	6,151555E+08	7,569965E+10	6,742104E+09
<b>SIRM/x</b> (pA/m)	186	3,932547E+16	3,833107E+16	1,101118E+16	8,974370E+16	1,211925E+16

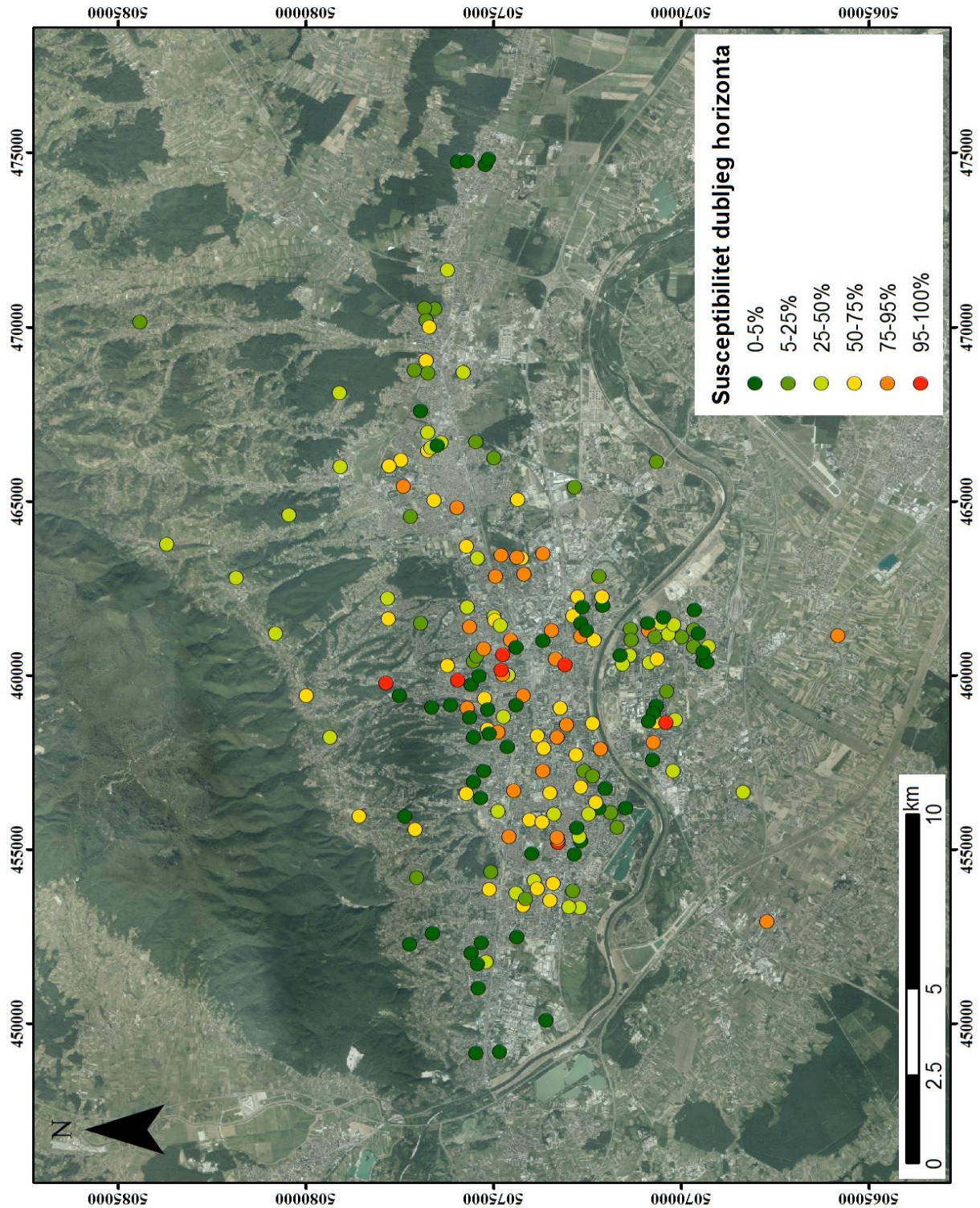
Tablica 7.2. Osnovna statistička obrada točaka dubinskog horizonta

	<b>Broj točaka</b>	<b>Sredina</b>	<b>Medijan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Std.Dev.</b>
<b>ARM100</b> (pAm <sup>2</sup> /kg)	153	-7,965862E+07	-5,510368E+07	-5,481409E+08	-6,324320E+06	7,711606E+07
<b>x</b> (m <sup>3</sup> /kg)	153	1,552123E-07	9,846181E-08	2,866084E-08	1,069989E-06	1,691256E-07
<b>SIRM</b> (pAm <sup>2</sup> /kg)	143	7,420808E+09	3,836970E+09	3,157020E+08	6,687854E+10	9,972235E+09
<b>SIRM/x</b> (pA/m)	143	4,190520E+16	3,954375E+16	1,042433E+16	1,088809E+17	1,520137E+16

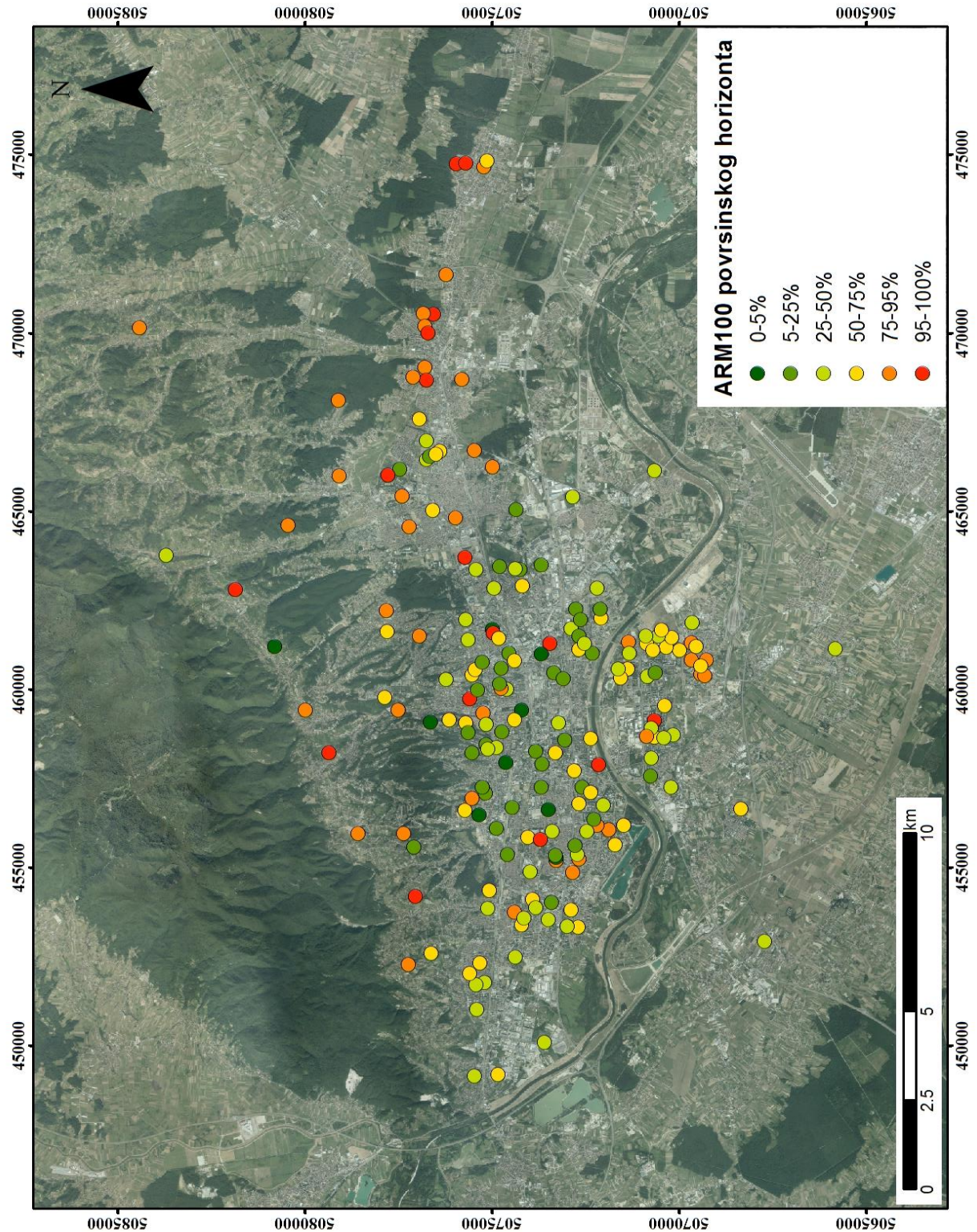


Slika 7.1. Karta susceptibiliteta površinskog horizonta Grada Zagreba po percentilima

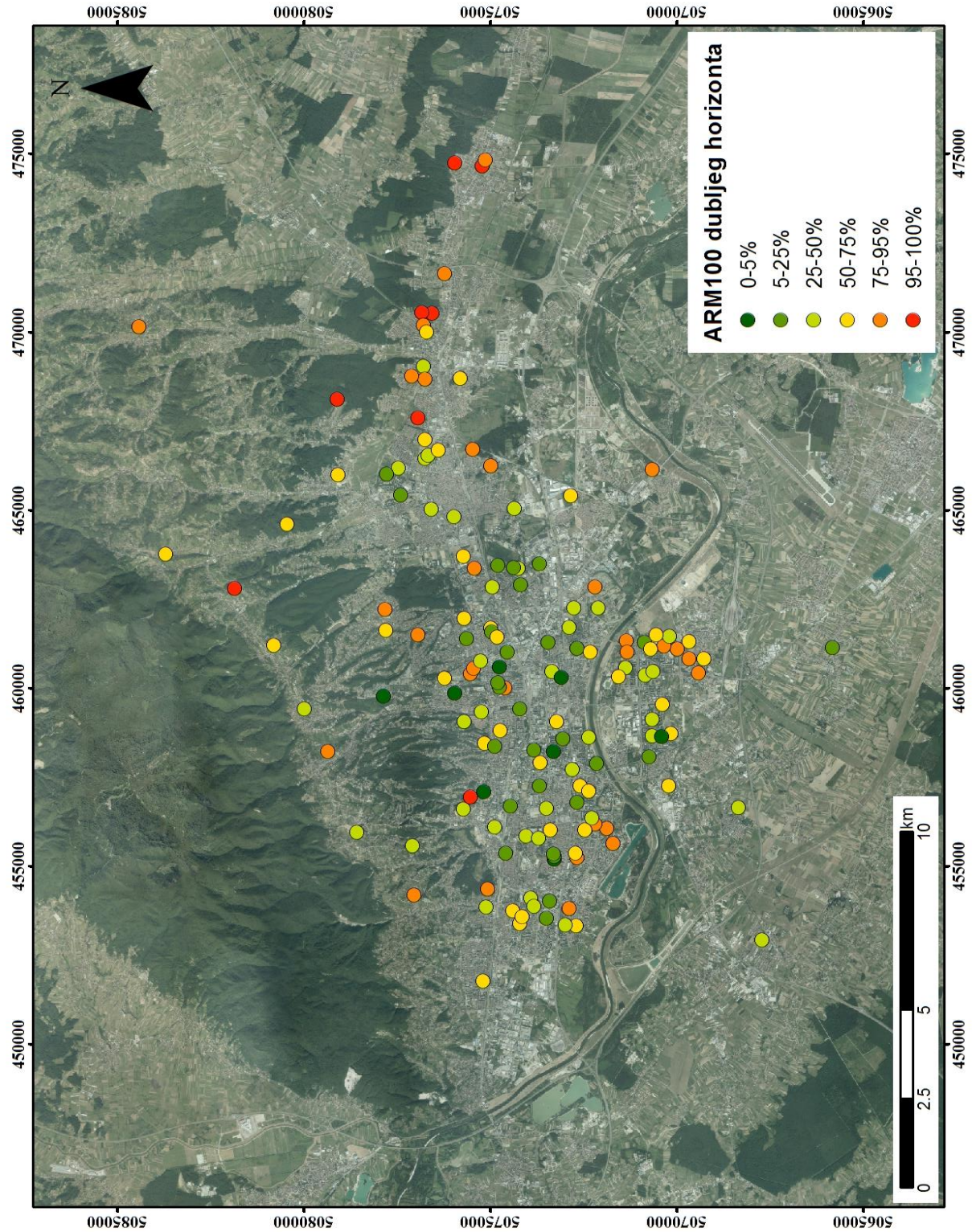




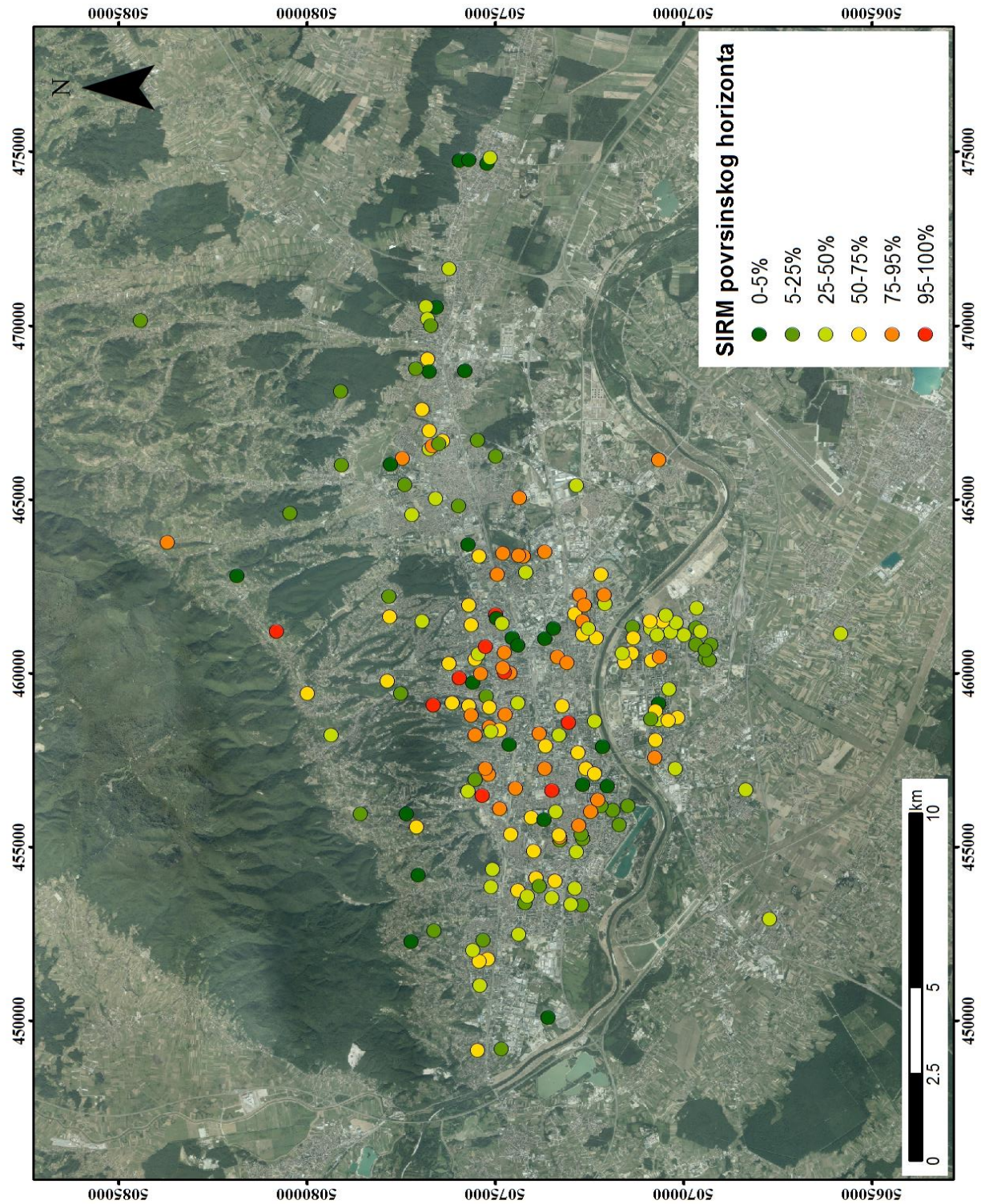
Slika 7.2. Karta susceptibiliteta dubljeg horizonta Grada Zagreba po percentilima



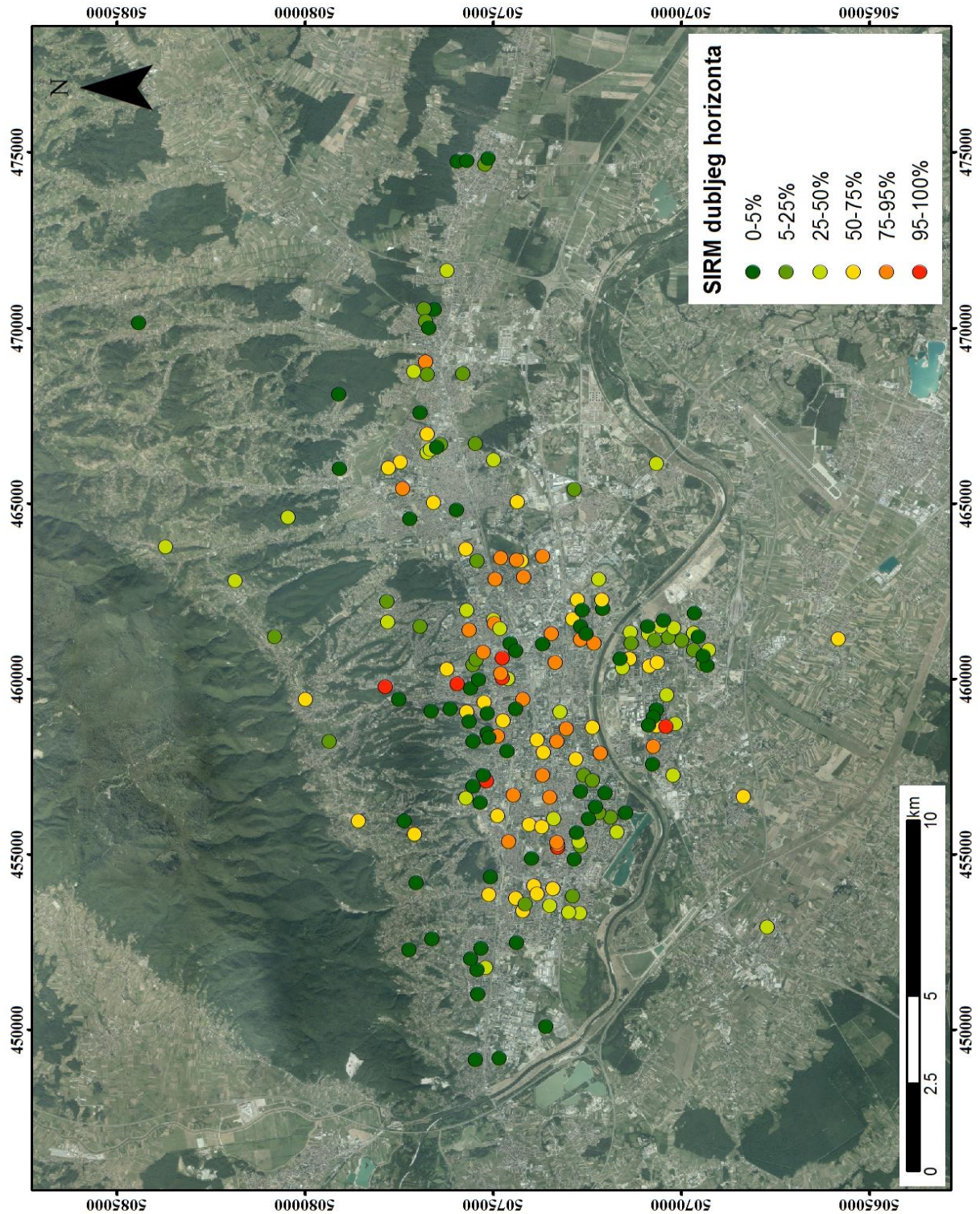
Slika 7.3. Karta ARM površinskog horizonta Grada Zagreba po percentilima



Slika 7.4. Karta ARM dublji horizonta Grada Zagreba po percentilima



Slika 7.5. Karta SIRM površinskog horizonta Grada Zagreba po percentilima



Slika 7.6. Karta SIRM dubljeg horizonta Grada Zagreba po percentilima

### 7.1. Magnetska svojstva tla razvijena na različitim geološkim podlogama

Tablica 7.3. Pokazuje broj točaka unutar Grada Zagreba koje se nalaze unutar svake pojedine izdvojene geološke jedinice.

Tablica 7.3. Broj točaka unutar podjele po geološkoj građi

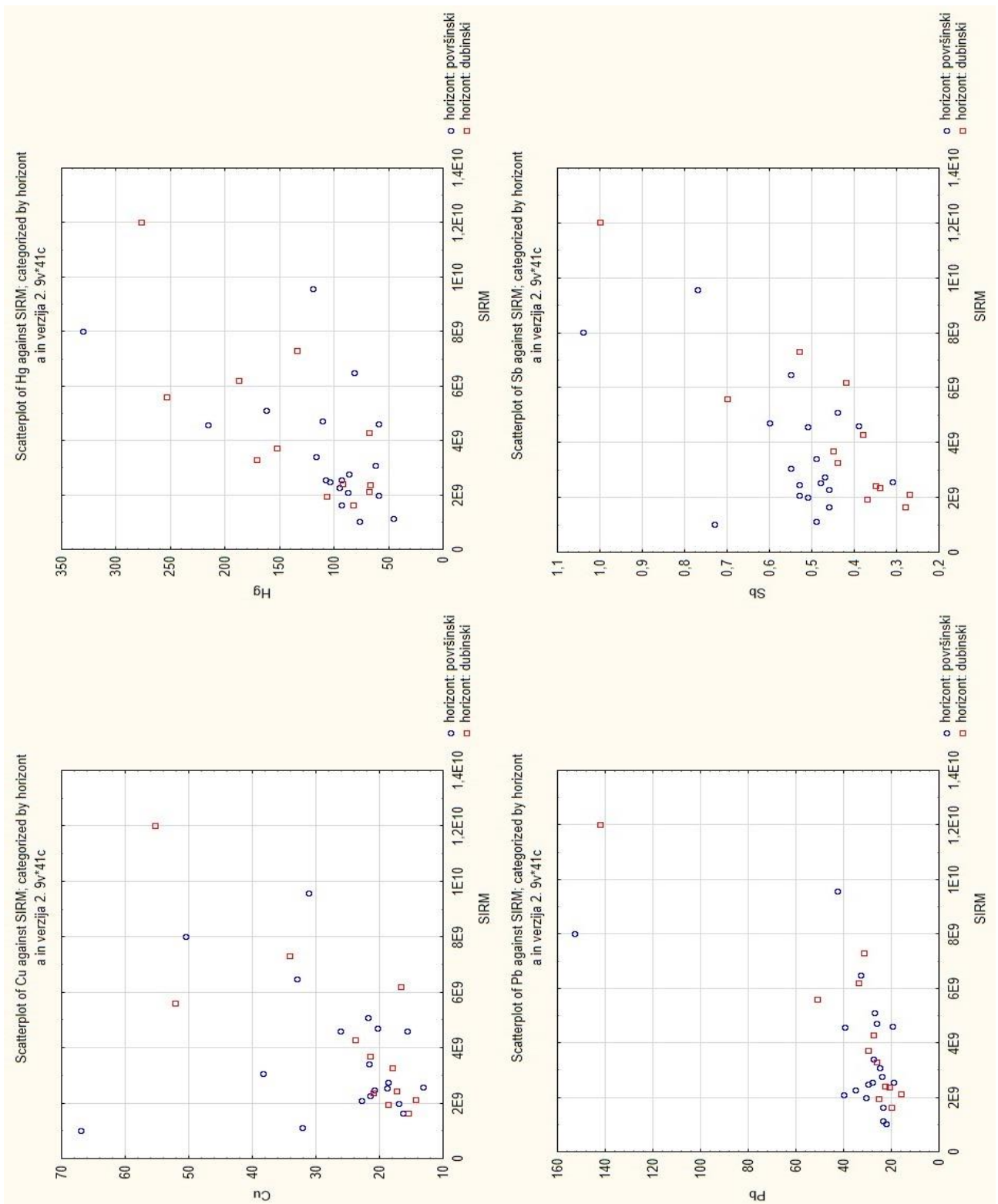
oznaka kategorije	a	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	pr	dpr	lb	l	Pl,Q	panon/pont
broj točaka	13	36	61	15	14	6	14	20	13

#### 7.1.1. Aluvijalni nanosi recentnih tokova Save (a)

U Tablici 7.4. izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima geološke jedinice a. Gotovo niti jedan element, osim Ca u površinskim uzorcima, nema dobru korelaciju sa SIRM/x parametrom. Dubinski uzorci općenito pokazuju puno bolju korelaciju elemenata sa susceptibilitetom i SIRM-om. Na temelju te informacije možemo zaključiti da je većina magnetskih minerala u jedinici a upravo u dubljim uzorcima tla i/ili su metali u površinskim uzorcima nisu adsorbirani na površine magnetskih minerala. Slika 7.7. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za jedinicu a izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. Iz dijagrama se vidi grupiranje bakra, olova i antimona na nižim vrijednostima SIRM-a i koncentracija za dubinske uzorke. Površinski uzorci pokazuju više koncentracije metala, ali i manji stupanj grupacije, što odgovara rezultatima koeficijenta korelacije.

Tablica 7.4. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu a

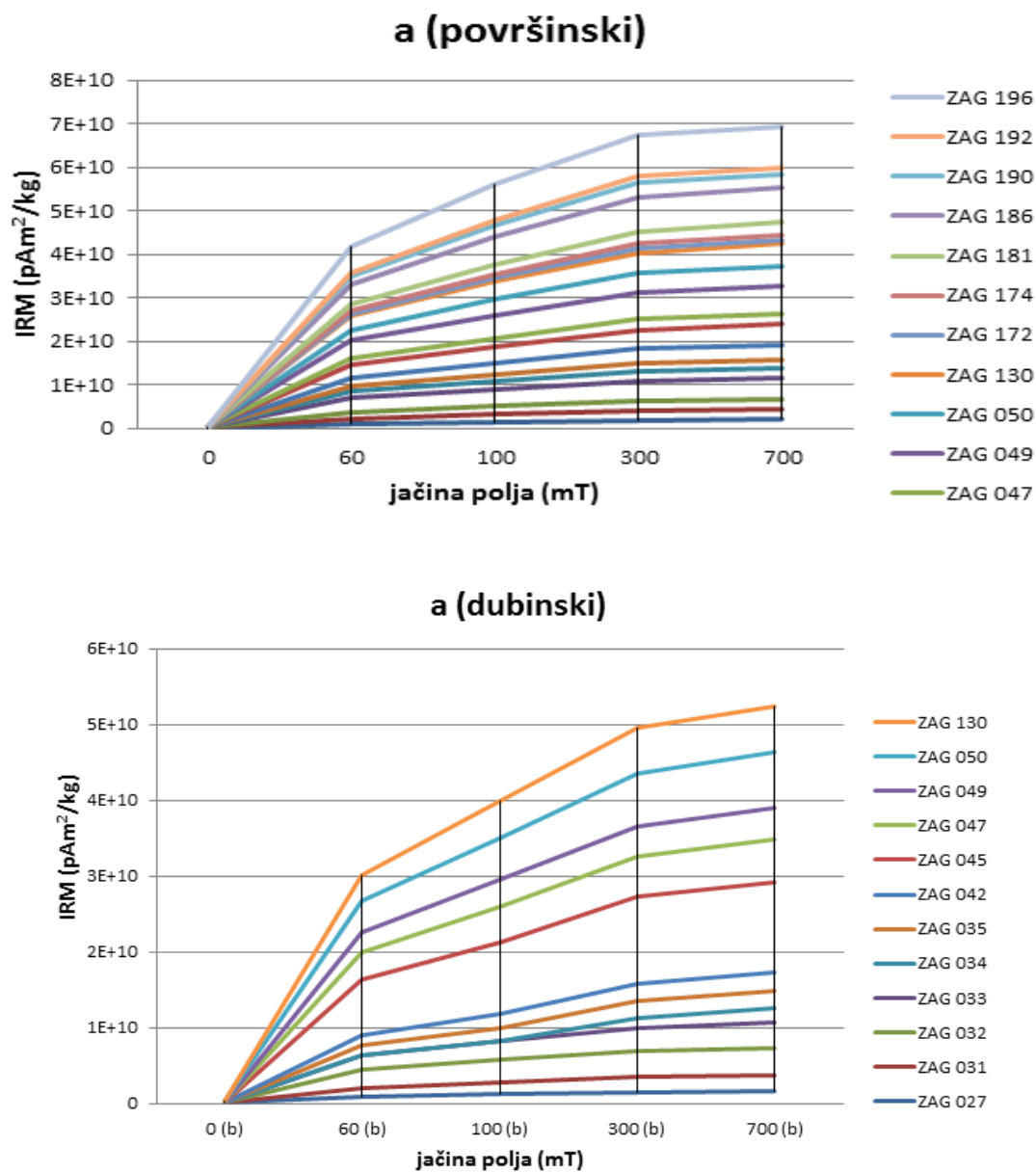
		<b>ARM 100</b>	<b>X</b>	<b>SIRM</b>	<b>SIRM/x</b>
<b>površinski</b>					
<b>uzorci</b>					
	Na	-0,587942	0,612918	0,638028	
	Zn	-0,686246		0,576042	
	Sb	-0,500142		0,553612	
	Hg	-0,514462		0,569850	
<b>dubinski</b>					
<b>uzorci</b>					
	Na	-0,692737	0,802404	0,824638	
	Pb	-0,691329	0,550812	0,880077	
	Zn	-0,730779	0,848102		
	Sb	-0,762127	0,750046	0,906887	
	Hg	-0,663274	0,737284	0,775901	
	U	-0,689526	0,821648	0,563366	
	Mo	-0,707671	0,804100		
	Cu	-0,787271	0,836247	0,801876	
	Ag	-0,720510	0,807010	0,835284	



Slika 7.7. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu a



Na Slici 7.8. prikazani su IRM grafovi za geološku jedinicu a za površinske i za dublje uzorke. Svi uzorci imaju krivulje indikativne za meke minerale, najvjerojatnije magnetit. Uzorci dubljeg horizonta okvirno su se podijelili u dvije skupine: oni sa višim i nižim vrijednostima IRM-a. Više vrijednosti IRM-a govore nam o većoj koncentraciji najvjerojatnije magnetita i/ili o manjoj dimenziji zrna.



Slika 7.8. IRM grafovi za geološku jedinicu a za a) površinski i b) dubinski horizont

### 7.1.2. Aluvijalni nanosi prve savske terase (a<sub>1</sub>)

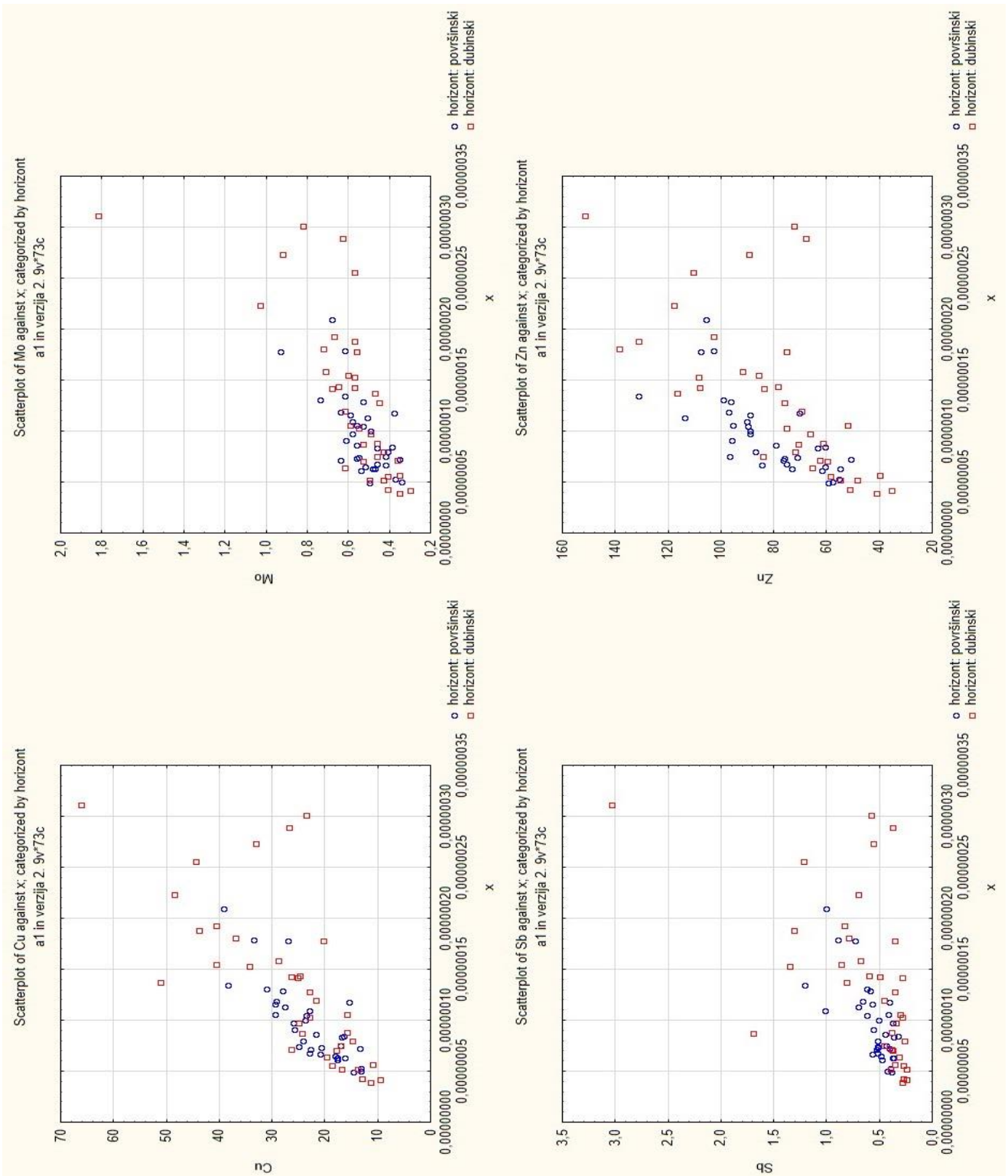
U Tablici 7.5. izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima geološke jedinice a<sub>1</sub>. Kao i u slučaju u jedinici a, gotovo niti jedan element ne pokazuje dobru do izuzetno dobru korelaciju s parametrom SIRM/x, izuzev srebra u površinskim uzorcima. Većina elemenata, kako u površinskim tako i u dubinskim uzorcima, pokazuje dobru korelaciju sa susceptibilitetom i SIRM-om. Valja napomenuti izuzetno dobru korelaciju bakra sa susceptibilitetom i SIRM-om i u površinskim i u dubinskim uzorcima, te izuzetno dobru korelaciju cinka u površinskim i molibdena i urana u dubinskim uzorcima sa magnetskim parametrima. Slika 7.9. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za jedinicu a<sub>1</sub> izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. Površinski uzorci pokazuje jaču grupaciju za cink i antimon sa susceptibilitetom nego dubinski uzorci.

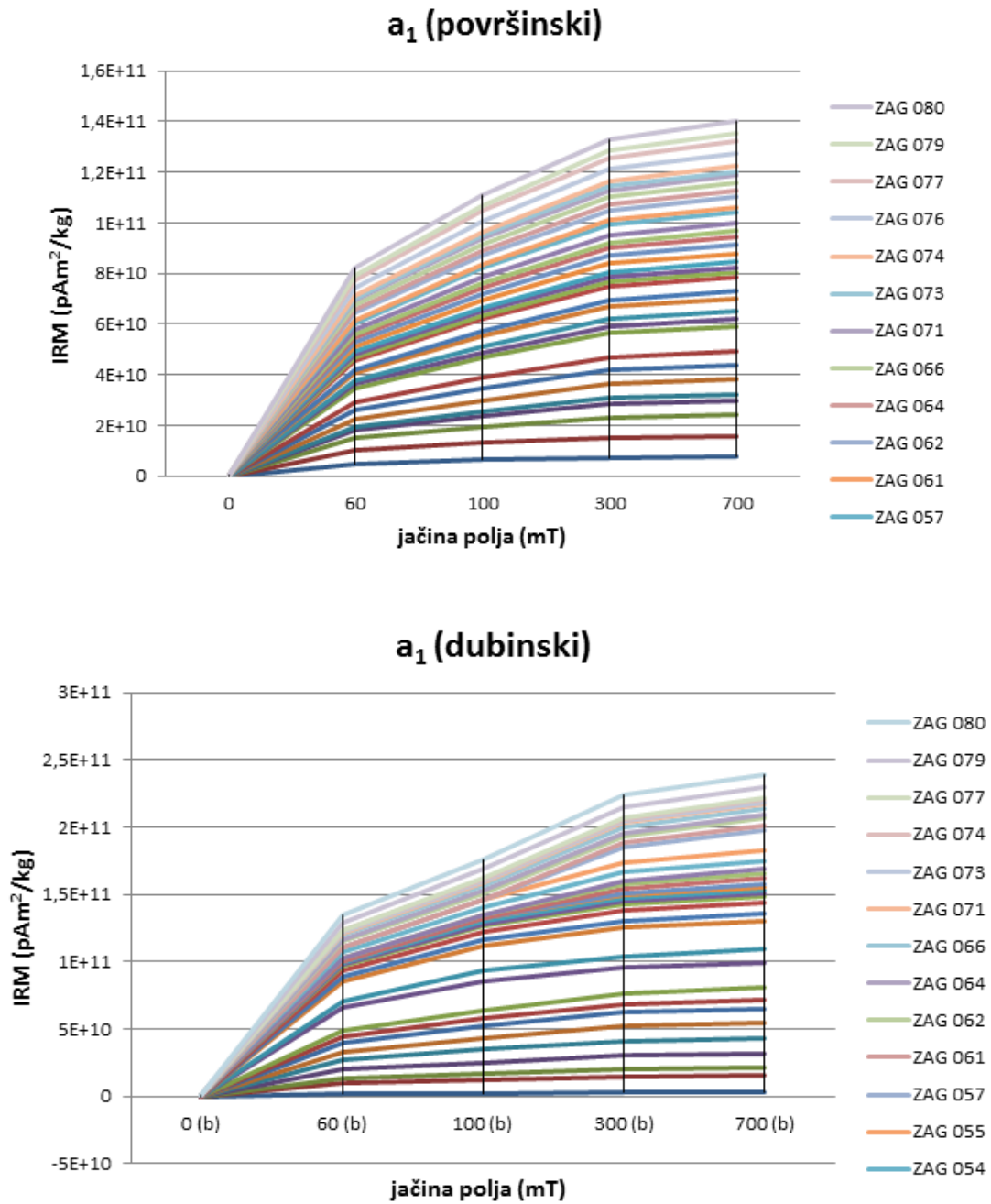
Tablica 7.5. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu a<sub>1</sub>

		ARM 100	X	SIRM	SIRM/x
<b>površinski uzorci</b>					
	Mo	-0,707892	0,662408	0,625151	
	Cu	-0,632993	0,802906	0,766302	
	Pb	-0,639427	0,643171	0,627783	
	Zn	-0,628009	0,746732	0,706889	
	U	-0,652382	0,604252	0,617814	
	Sb	-0,519936	0,711767	0,666445	
	Fe		0,645891	0,608844	
	Ag		0,510079	0,666693	0,643975
	Ca		-0,500574		
	Al		0,594061	0,557509	
<b>dubinski uzorci</b>					
	Mo	-0,752159	0,727008	0,620163	
	Cu	-0,612486	0,754014	0,581215	

	Pb		0,596374	0,503921	
	Zn	-0,597382	0,695950	0,562872	
	U	-0,756463	0,770584	0,716507	
	Sb		0,523614		
	Fe	-0,515576	0,671697	0,504125	
	Ag	-0,522978	0,657370	0,566251	
	Ca		-0,551398		
	Al	-0,510535	0,623241		

Na Slici 7.10. prikazani su IRM grafovi površinskih i dubinskih uzoraka za geološku jedinicu a<sub>1</sub>. Dubinski uzorci dostižu nešto veće vrijednosti IRM-a u odnosu na površinske. Te više vrijednosti u dubljem horizonti najvjerojatnije su povezane s višom koncentracijom magnetita i/ili s manjom dimenzijom magnetskih zrna.

Slika 7.9. Izabrani dijagrami raspšenja za geološku jedinicu a<sub>1</sub>

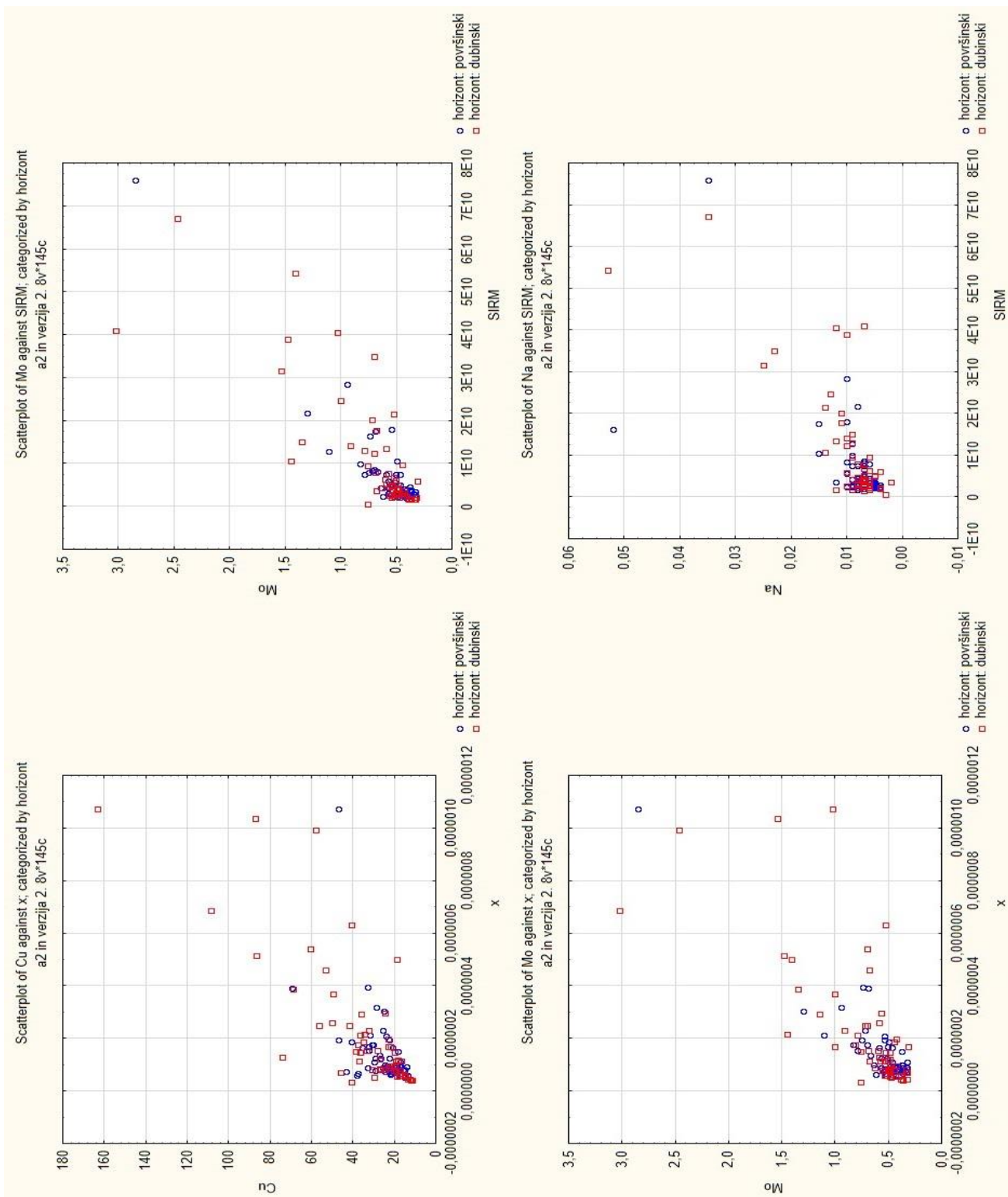
Slika 7.10. IRM grafovi za geološku jedinicu a<sub>1</sub> za a) površinski i b) dubinski horizont

### 7.1.3. Aluvijalni nanosi druge savske terase (a<sub>2</sub>)

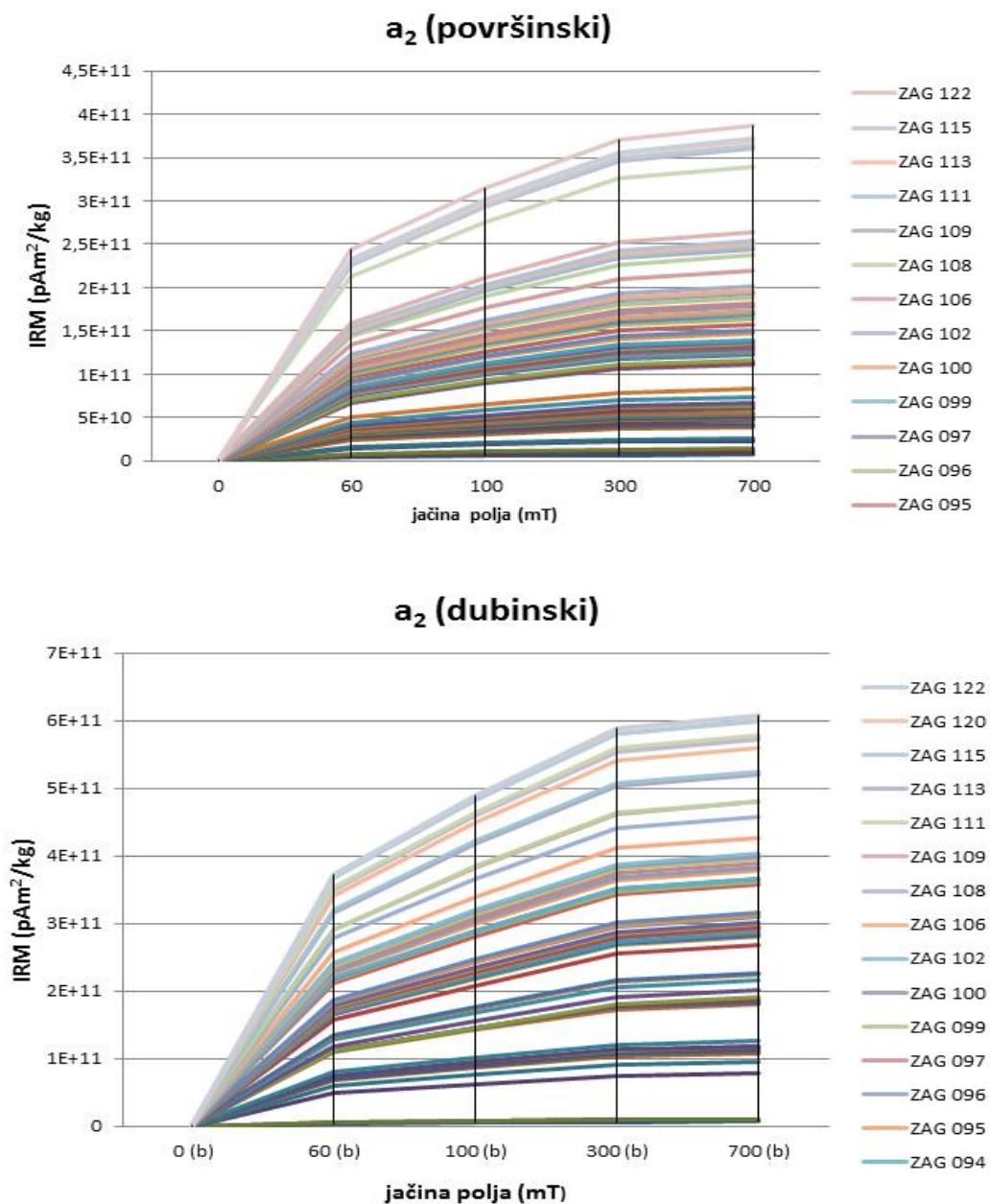
U Tablici 7.6. izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima geološke jedinice a<sub>2</sub>. Za razliku od ostalih holocenskih jedinica (a i a<sub>1</sub>), u ovoj kategoriji više elemenata pokazuje dobru korelaciju sa SIRM/x parametrom; Mo i U za površinske i dubinske uzorke, Zn za površinske, te Na za dubinske uzorke. Molibden i uran pokazuju izuzetno dobru korelaciju sa x i SIRM u površinskim i dubinskim uzorcima. Slika 7.11. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za jedinicu a<sub>2</sub> izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. U sva četiri dijagrama dubinski uzorci pokazuju izuzetno dobru grupaciju za bakar, molibden i natrij sa magnetskim parametrom SIRM.

Tablica 7.6. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu a<sub>2</sub>

		<b>ARM 100</b>	<b>x</b>	<b>SIRM</b>	<b>SIRM/x</b>
<b>površinski</b>					
	Mo	-0,929618	0,915776	0,934887	0,554618
	Ag	-0,526619	0,653868	0,629698	
	U	-0,822987	0,866121	0,822893	0,525919
	Na	-0,627691	0,693303	0,602771	
	Cu		0,521692		
	Pb		0,546339		
	Zn		0,583730	0,563718	0,555929
	Sb		0,564428		
<b>dubinski</b>					
	Mo	-0,776680	0,720422	0,817484	0,518951
	Ag	-0,635998	0,598131	0,537688	
	U	-0,754415	0,606423	0,731573	0,529173
	Na	-0,692671	0,538093	0,756943	0,657692
	Cu	-0,656505	0,774855	0,605116	
	Pb		0,593018		
	Zn	-0,565779	0,552650		
	Sb	-0,594002	0,612667		

Slika 7.11. Izabrani dijagrami raspšenja za geološku jedinicu a<sub>2</sub>

Slika 7.12. prikazuje IRM grafove za površinske i dublje uzorke geološke jedinice  $a_2$ . Kao i u prethodnoj jedinici, uzorci dubljeg horizonta pokazuju više vrijednosti IRM-a. Također se na uzorcima površinskog horizonta par uzoraka ( ZAG 122, 115, 113, 111, 109 i 108) izdvaja po značajno višim vrijednostima od ostalih. Ti uzorci pokazuju povišene koncentracije magnetita u cijelom skupu.



Slika 7.12. IRM grafovi za geološku jedinicu  $a_2$  za a) površinski i b) dubinski horizont



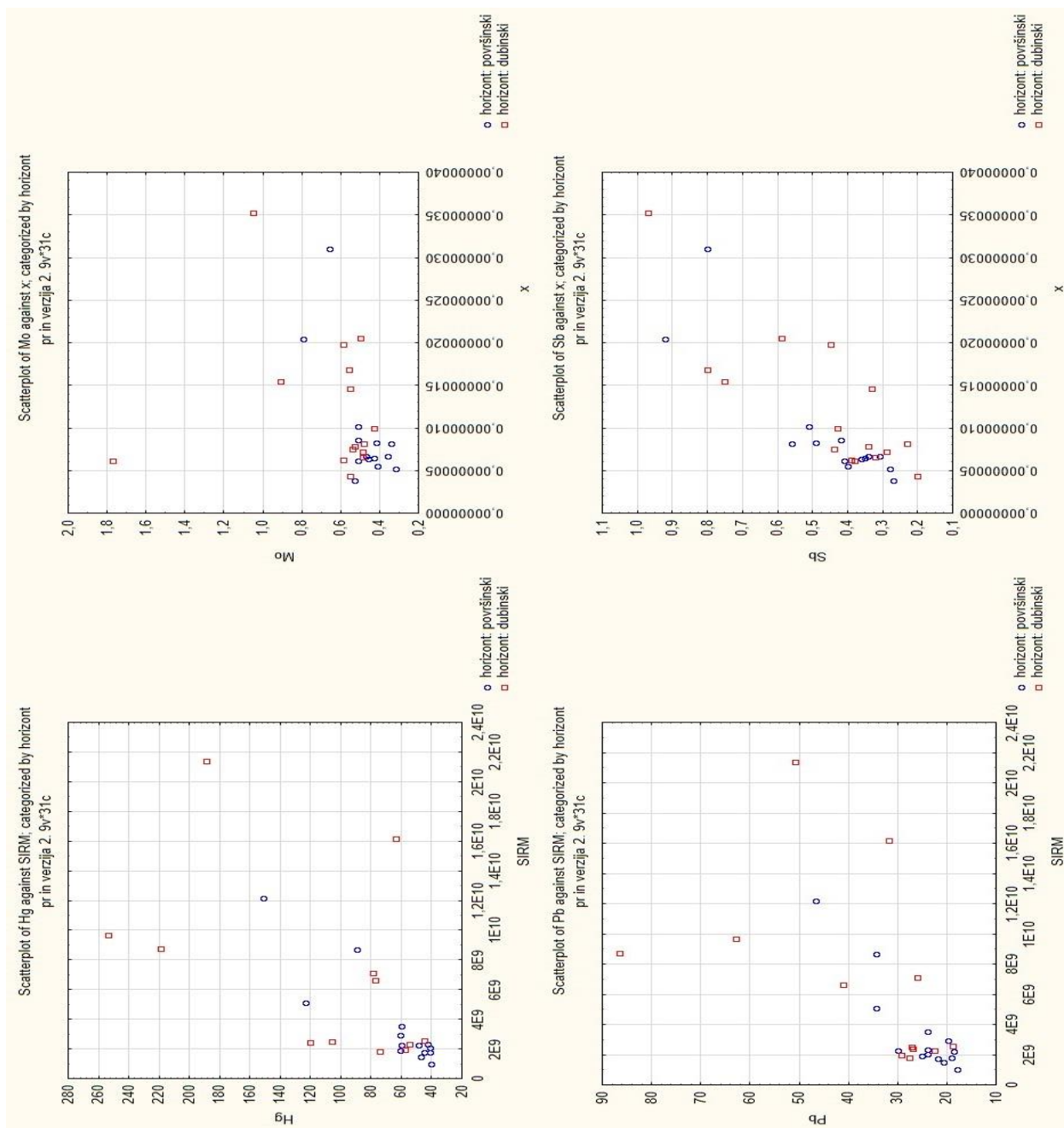
#### 7.1.4.Proluvij (pr)

U Tablici 7.7. izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima geološke jedinice pr. U usporedbi s ostalim holocenskim jedinicama, proluvij pokazuje puno jače korelacije elemenata s magnetskim parametrima, to jest većina korelacija su izuzetno dobre ( $>0,7$ ). To je pogotovo očito u korelaciji SIRM-a s elementima u površinskim uzorcima. Ta jaka korelacija (pogotovo Mo, Sb, Na) može biti posljedica povećane koncentracije gline u ovim tlima. Slika 7.13. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za jedinicu pr izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. Površinski uzorci pokazuju bolju grupaciju za antimon i živu sa SIRM-om u odnosu na dubinske uzorke.

Tablica 7.7. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu pr

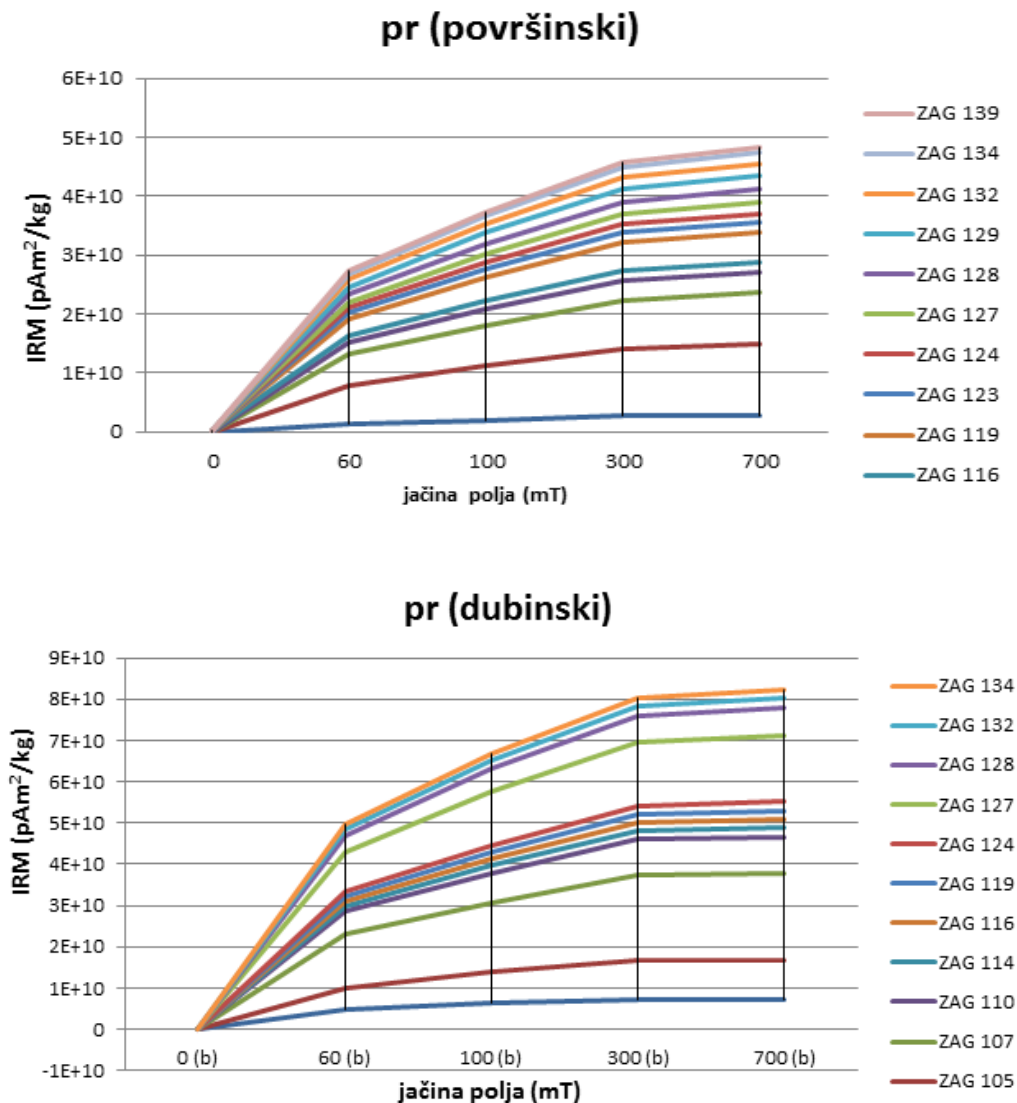
		ARM 100	x	SIRM	SIRM/x
<b>površinski uzorci</b>	Mo	-0,806482	0,723722	0,837032	
	Cu	-0,671705	0,593021	0,691109	
	Pb	-0,808507	0,698515	0,904383	0,794304
	Zn	-0,741482	0,579934	0,877195	0,736168
	Sb	-0,919077	0,871355	0,935550	0,540334
	Na	-0,837146	0,815726	0,893719	0,510216
	Hg	-0,759092	0,637580	0,892627	0,869982
	U	-0,742688	0,617305	0,848315	0,698909
	Ca	-0,540451		0,578409	0,517429
	Ag			0,506037	0,534223
<b>dubinski uzorci</b>	Mo	-0,706327	0,712909	0,674895	
	Cu	-0,651919	0,677209	0,610355	
	Pb		0,530989		
	Zn	-0,758267	0,778821	0,667407	
	Sb	-0,832349	0,798109	0,719035	0,522699

	Na	-0,790622	0,857832	0,884742	0,804761
	Hg	-0,548192	0,575876		
	U		0,592504	0,572629	



Slika 7.13. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu pr

Na Slici 7.14. prikazani su IRM grafovi za uzorke površinskog i dubljeg horizonta za jedinicu pr. IRM vrijednosti površinskih uzoraka ne prelaze  $5 \times 10^{10}$  pAm<sup>2</sup>/kg, dok se vrijednosti za dublje uzorke većinom nalaze iznad te vrijednosti, čak i na jačini polja 300mT.



Slika 7.14. IRM grafovi za geološku jedinicu pr za a) površinski i b) dubinski horizont

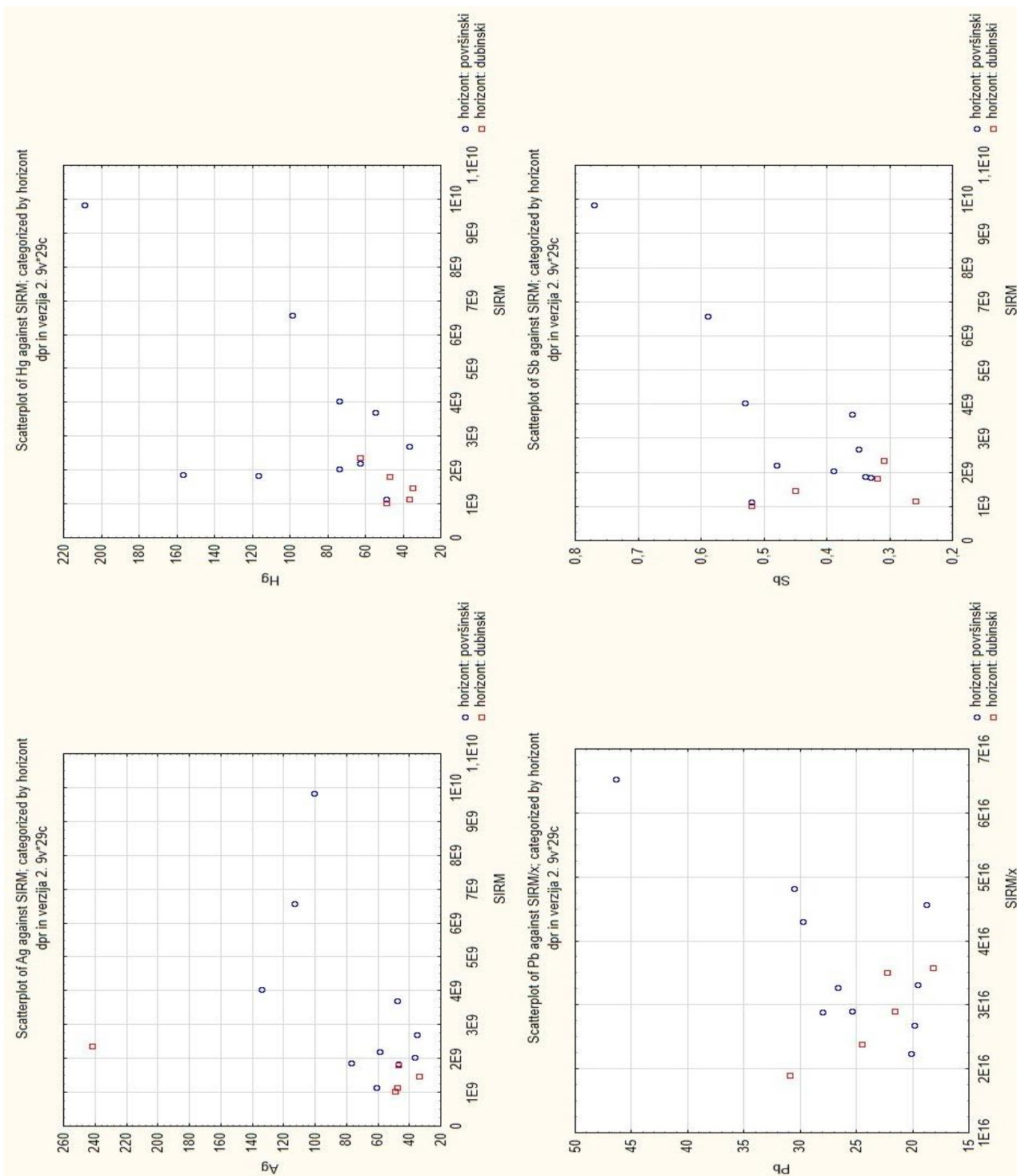
### 7.1.5. Deluvij i proluvij (dpr)

U Tablici 7.8. izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima jedinice dpr. Kao i u jedinicama pleistocena (l i lb), i u ovoj geološkoj jedinici javlja se negativna korelacija elemenata sa SIRM/x. Unutar površinskih uzoraka, samo antimon i olovo pokazu ju izuzetno dobru korelaciju sa magnetskim parametrima. U dubinskim

uzorcima, izuzetno dobra korelacija postoji između SIRM-a i srebra, natrija, kalcija i žive. Slika 7.15. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za jedinicu dpr izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. Dubinski uzorci pokazuju očekivano dobre grupacije srebra i žive sa SIRM-om.

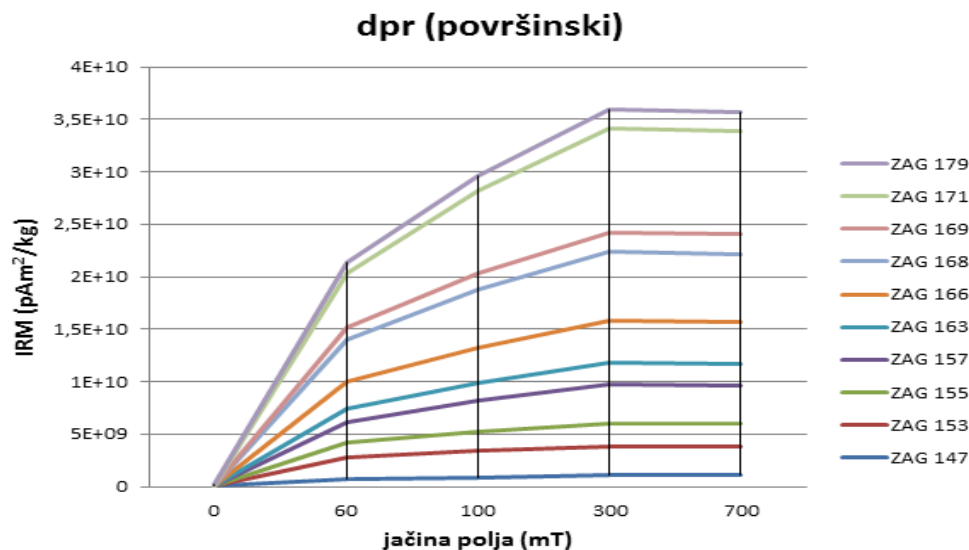
Tablica 7.8. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu dpr

		ARM 100	x	SIRM	SIRM/x
<b>površinski</b>					
<b>uzorci</b>					
	Mo	-0,604000	0,505278		
	Cu	-0,568569	0,528406	0,666251	0,568729
	Pb	-0,749135	0,726002	0,836901	0,769816
	Zn	-0,774983	0,683762	0,779687	0,723930
	Ag	-0,635449	0,583795	0,600583	0,574318
	Fe	0,518004			-0,537488
	Al	0,608520			-0,536559
	Na	-0,650793		0,626604	0,720108
	Hg			0,615699	0,604542
	Sb	-0,806533	0,740474	0,820705	0,704604
<b>dubinski</b>					
<b>uzorci</b>					
	Mo	0,742261	-0,667239		0,580580
	Cu			-0,573708	-0,698313
	Pb				-0,903469
	Zn		0,594559		-0,872658
	Ag	-0,643041		0,813530	
	Fe	0,813982	-0,690886	-0,897439	
	Ca	-0,623335		0,815752	
	Al			-0,618998	-0,683637
	Na	-0,547027		0,917198	0,721793
	Hg	-0,818401	0,731103	0,706780	
	U				0,774508



Slika 7.15. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu dpr

Na Slici 7.16. prikazane su IRM krivulje površinskih uzoraka geološke jedinice dpr. Izgled grafova indikativan je za meke magnetske minerale, najvjerojatnije magnetit, s jedinom razlikom u rasponu magnetskih zrna unutar jedinice.



Slika 7.16. IRM graf za geološku jedinicu dpr za površinski horizont

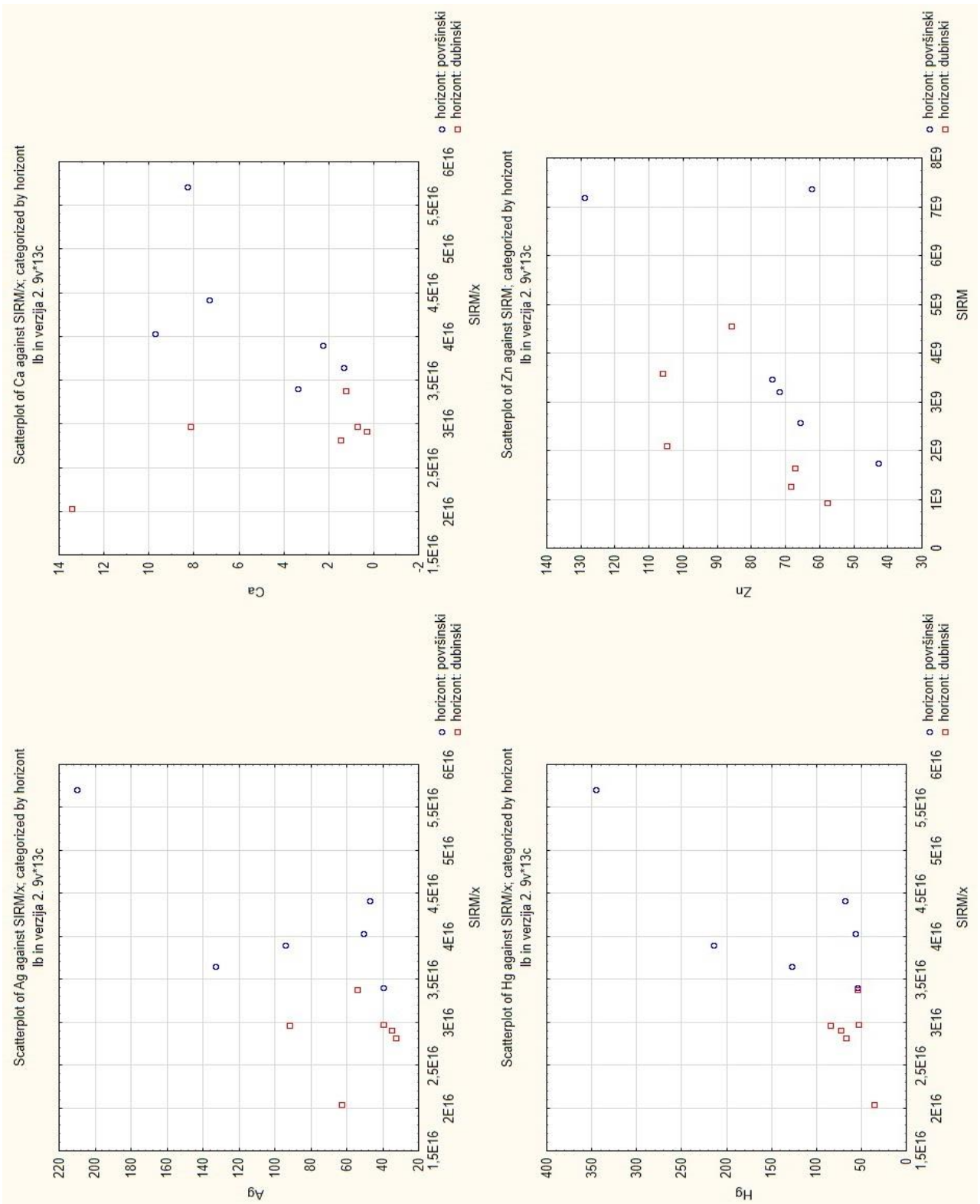
### 7.1.6. barski les (lb)

U Tablici 7.9. izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima geološke jedinice lb. U ovoj jedinici javlja se izuzetno jaka korelacija elemenata s SIRM/x parametrom, pogotovo u površinskim uzorcima. Također je važno primijetiti negativnu korelaciju SIRM/x sa aluminijem u površinskim i natrijem i kalcijem u dubinskim uzorcima. Barski les karakteriziran je visokim udjelom kalcijevog karbonata što može za posljedicu imati ovu negativnu korelaciju. Općenito, jedinica lb pokazuje najmanju korelaciju elemenata sa magnetskim parametrima u odnosu na sve druge kategorije. Taj podatak govori nam ili o manjoj koncentraciji teških metala unutar ove kategorije ili o puno većoj vjerojatnosti da je velika količina metala uklopljena unutar kristalne rešetke kalcijevog karbonata, što dovodi do posljedice manje adsorpcije istih na vanjske površine magnetskih minerala. Slika 7.17. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za jedinicu lb izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. U ovoj jedinici, dijagrami raspršenja

ne pokazuju grupiranje elemenata sa magnetski parametrima niti za površinske niti za dubinske uzorke.

Tablica 7.9. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu Ib

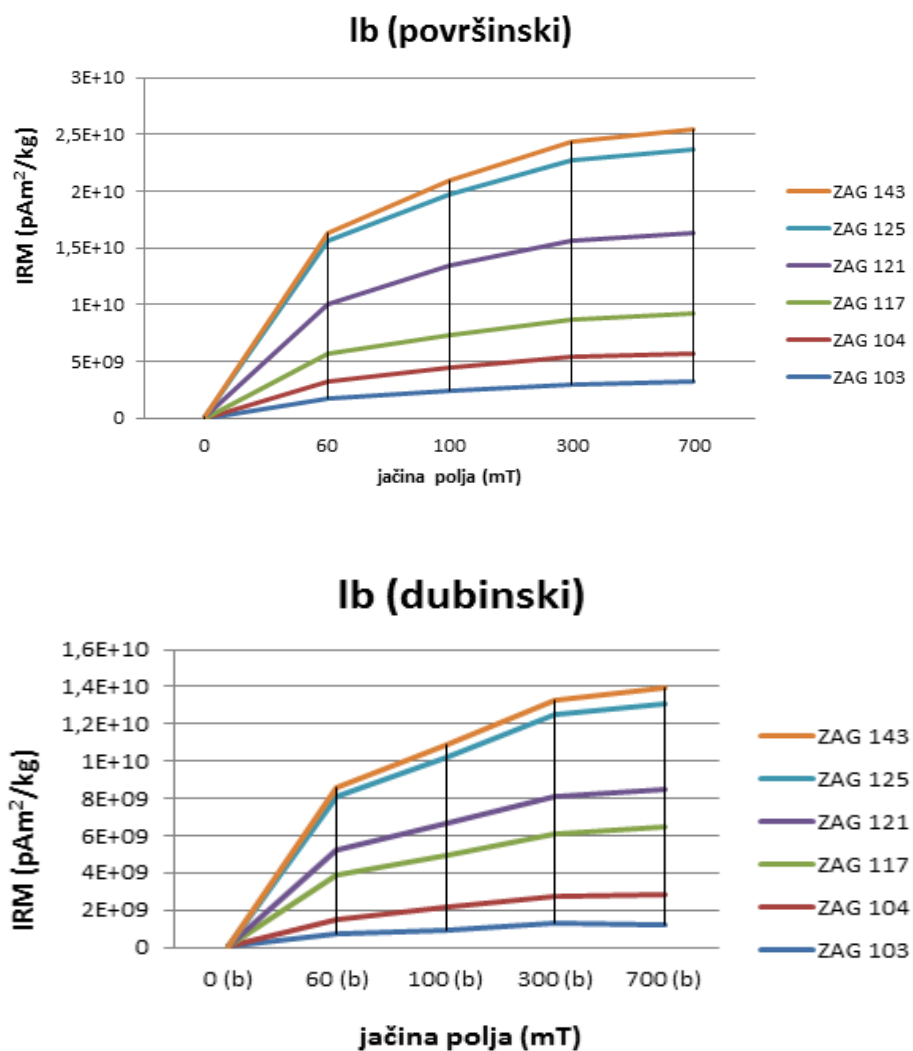
		ARM 100	x	SIRM	SIRM/x
<b>površinski</b>					
<b>uzorci</b>					
	Na			0,609342	0,747860
	Zn			0,628592	0,778301
	Ag				0,710407
	Ca				0,618752
	Hg				0,759130
	Sb				0,796086
	U		0,504292		
	Pb			0,655234	0,813159
	Al				-0,684137
<b>dubinski</b>					
<b>uzorci</b>					
	Na	0,772853	-0,553932	-0,642972	-0,622022
	Zn		0,651977	0,630027	
	Ag		0,567581		0,597183
	Ca				-0,769151
	Hg				0,511598
	Cu	-0,661710			
	Sb	-0,524330			



Slika 7.17. Izabrani dijagrami raspšenja za geološku jedinicu lb



Slika 7.18. prikazuje IRM krivulje za geološku jedinicu Ib za površinske i dublje uzorke. U odnosu na prijašnje jedinice, vrijednosti IRM-a su značajno niže. Usporedba srednje vrijednosti susceptibiliteta i SIRM-a između jedinica ne govori nam o velikoj promjeni koncentracija magnetskih zrna između jedinica, pa bi se ova razlika mogla objasniti većom dimenzijom magnetskih zrna u ovoj jedinici u odnosu na sve druge.



Slika 7.18. IRM grafovi za geološku jedinicu Ib za a) površinski i b) dubinski horizont

### 7.1.7. Kopneni beskarbonatni les (I)

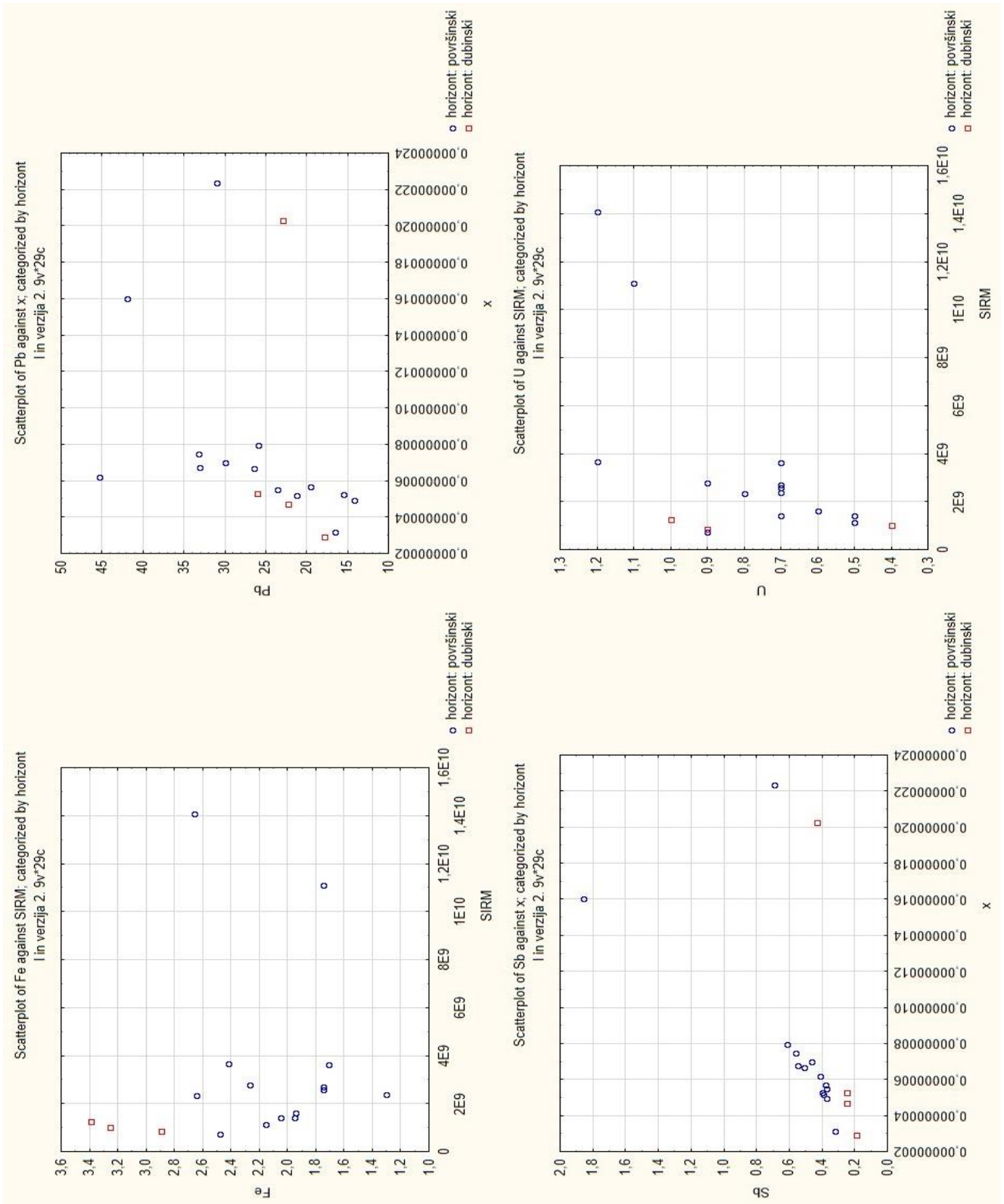
U Tablici 7.10. izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima geološke jedinice 1. Dubinski uzorci jedinice 1 pokazuju puno jaču korelaciju magnetskih parametara u odnosu na površinske elemente. Također se u dubinskim uzorcima javlja izuzetno dobra negativna korelacija elemenata sa SIRM/x omjerom. Korelacija elemenata, pogotovo Zn, Sb, Pb, Cu, Ag, Fe, sa susceptibilitetom također je izuzetno dobra u dubinskim uzorcima. Jedinicu kopnenog beskarbonatnog lesa većim dijelom čine naslage silta i gline, što može utjecati na izuzetno dobru korelaciju i adsorpciju metala na vanjske površine magnetskih elemenata. Slika 7.19. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za jedinicu 1 izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. Dubinski uzorci pokazuju grupacije antimona, olova i željeza s magnetskim parametrima, dok uran ne pokazuje nikakvu grupaciju. Površinski uzorci pokazuju dobru grupaciju antimona sa susceptibilitetom.

Tablica 7.10. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu 1

		ARM 100	x	SIRM	SIRM/x
<b>površinski uzorci</b>	Mo	-0,501176			
	Zn	-0,506680			
	U	-0,650670	0,651610	0,712243	0,730594
	Sb	-0,651910	0,633206	0,692121	0,668434
	Na	-0,751573	0,736779	0,796478	0,913427
	Pb			0,506768	0,646494
<b>dubinski uzorci</b>	Mo			0,886934	
	Zn	-0,931417	0,948473		-0,954659
	U	0,529292	-0,571112		0,943341
	Sb	-0,981939	0,971234	0,843481	-0,648535

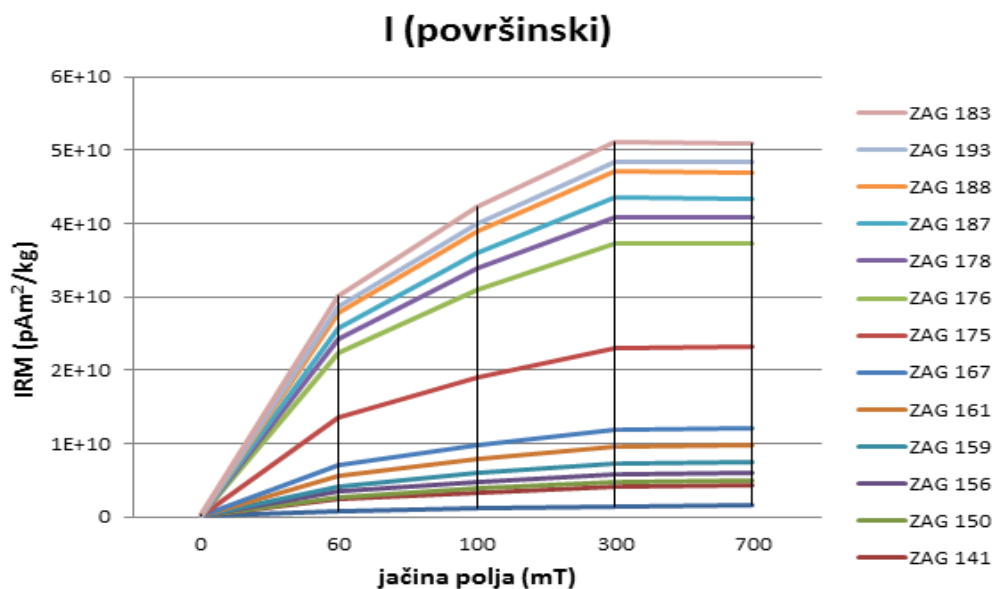
## 7. Rezultati

	Na	0,654819	-0,691842		0,983473
	Pb	-0,959246	0,972191	0,502865	-0,925548
	Cu	-0,676570	0,712593		-0,988332
	Ag	-0,759487	0,791107		-0,999440
	Fe	-0,893745	0,870162	0,957601	
	Ca	-0,631395	0,669432		-0,977475
	Hg	0,544521	-0,501840	-0,971913	
	Al			-0,686883	-0,624907



Slika 7.19. Izabrani dijagrami raspšenja za geološku jedinicu I

Na slici 7.20. prikazane su IRM krivulje samo za površinske uzorke geološke jedinice I. Značajan broj dubinskih uzoraka koji su pali u ovu jedinicu nisu bili dostupni za magnetometrijska mjerenja. Isto se dogodilo i u jedinici panon/pont, te dpr. IRM vrijednosti za površinske uzorke dijele se u dvije skupine. Uzorci sa višim vrijednostima imaju i više koncentracije magnetita.



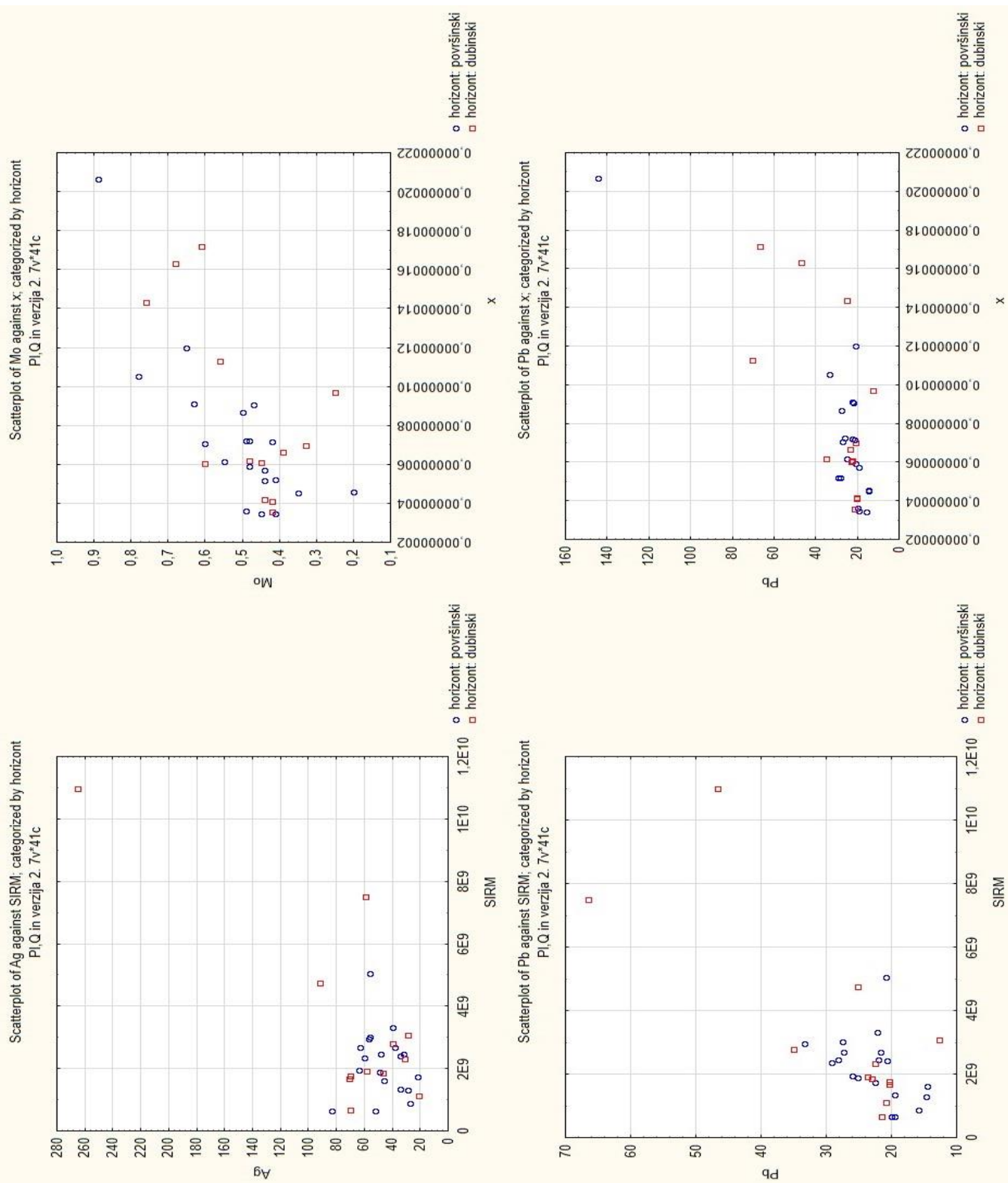
Slika 7.20. IRM graf za geološku jedinicu I za površinski horizont

#### 7.1.8. Donji pleistocen (Pl,Q)

U Tablici 7.11. izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima jedinice Pl,Q. Unutra površinskih uzoraka ove jedinice gotovo da i nema korelacije između magnetskih parametara i elemenata, izuzev molibdena sa susceptibilitetom. Dubinski uzorci pokazuju nešto bolju korelaciju, premda ne izuzetno jako kao u drugim jedinicama. Iznimka je olovo. Slika 7.21. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za jedinicu Pl,Q izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. I površinski i dubinski uzorci pokazuju najbolju grupaciju na dijagramima raspršenja srebra i olova sa magnetskim parametrom SIRM.

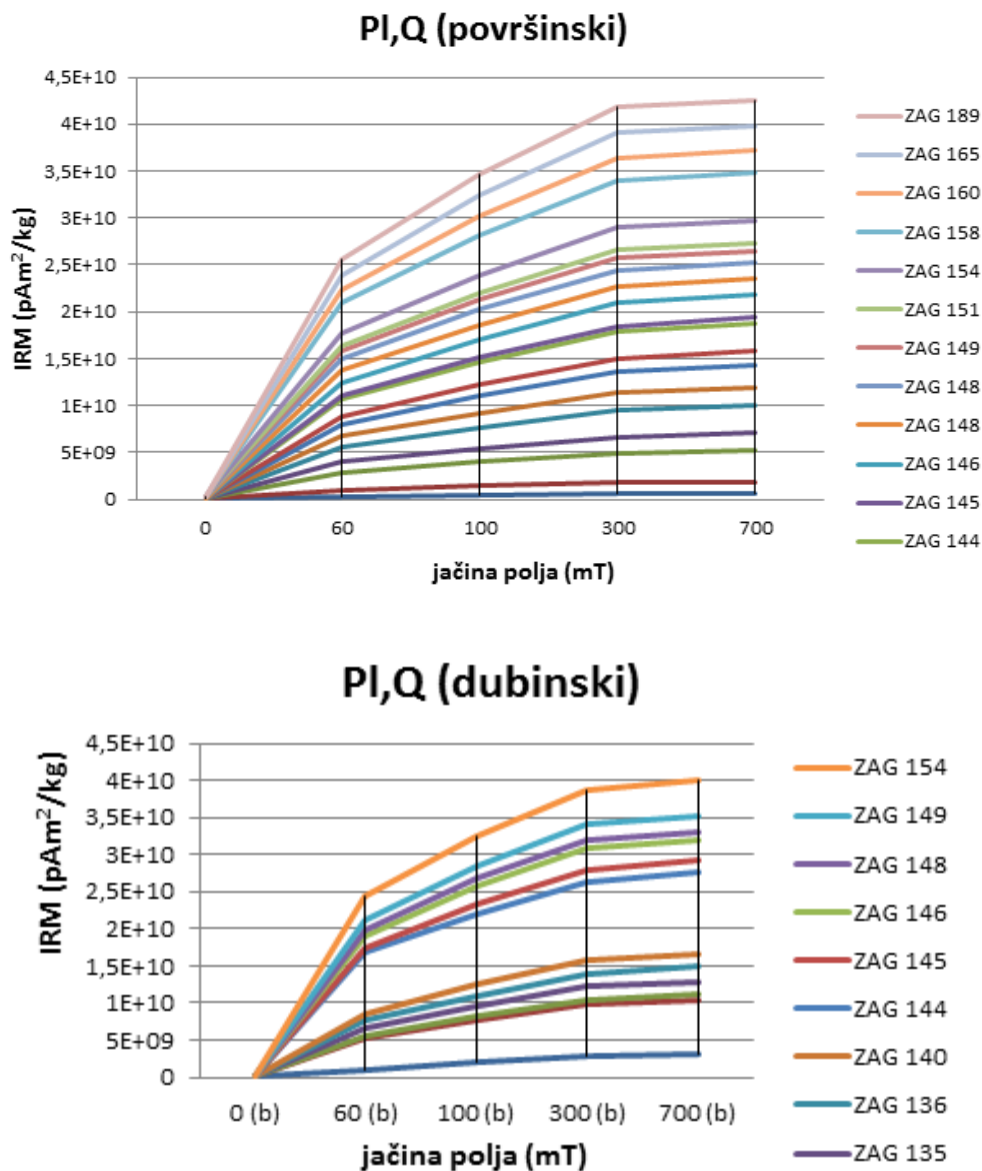
Tablica 7.11. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu Pl,Q

		<b>ARM 100</b>	<b>X</b>	<b>SIRM</b>	<b>SIRM/x</b>
<b>površinski</b>					
<b>uzorci</b>					
	Mo		0,707720		
	Na				0,502479
	Hg				0,562735
<b>dubinski</b>					
<b>uzorci</b>					
	Mo	-0,759917	0,628633	0,638432	
	Cu	-0,621421	0,528782		
	Pb	-0,838033	0,727303	0,764258	0,566059
	Zn	-0,695454	0,600133	0,681293	0,529890
	Sb	-0,739458	0,558287		
	Ag		0,530961	0,792414	0,728889



Slika 7.21. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu PI/Q

Na Slici 7.22. prikazane su IRM krivulje površinskih i dubljih uzoraka geološke jedinice Pl,Q. I uzorci površinskog i dubinskog horizonta pokazuju skoro pa iste maksimalne vrijednosti IRM-a ( $4 \times 10^{10}$  pAm<sup>2</sup>/kg), što nam govori da unutar jedinice, ali i profila nema puno promjena niti u koncentracijama magnetita, nit u veličini magnetskih zrna. Uzorci dubljeg horizonta pokazuju ipak određeno grupiranje u dvije skupine, one s nižim i one s nešto višim vrijednostima IRM-a.



Slika 7.22. IRM graf za geološku jedinicu Pl,Q za a) površinski i b) dubinski horizont

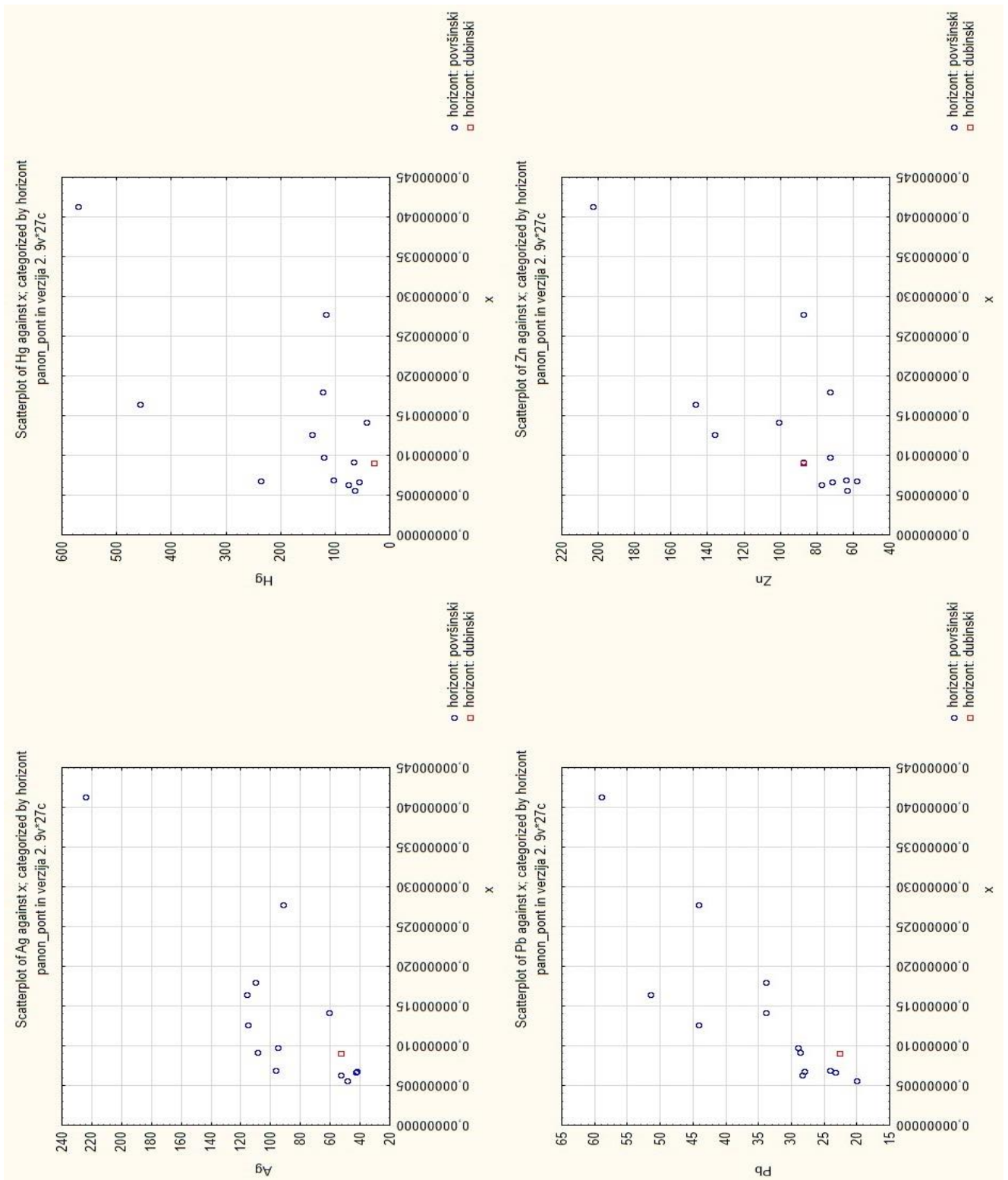


### 7.1.9. Panon/pont

U Tablici 7.12. izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima geološke jedinice panon/pont. Za ovu jedinicu postoje samo podatci o površinskim uzorcima. Svi dubinski uzorci točaka vrtića ove kategorije iskorišteni su u drugim analizama Hrvatskog Geološkog Instituta. Površinski uzorci pokazuju izuzetno dobru korelaciju magnetskih parametara sa elementima, naročito s olovom, cinkom, srebrom, uranom i živom. Naslage ove kategorije većinom su slatkovodno fluvijalno-jezerski sedimenti molasnog tipa većinom transportirani s obronaka Medvednice, što bi objasnilo izuzetno dobru korelaciju ovih elemenata s susceptibilitetom. Slika 7.23. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za jedinicu panon/pont izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. Dijagrami raspršenja za ovu jedinicu odnose se samo na površinske uzorke. Živa i cink pokazuju bolju grupaciju s susceptibilitetom u odnosu na srebro i olovo.

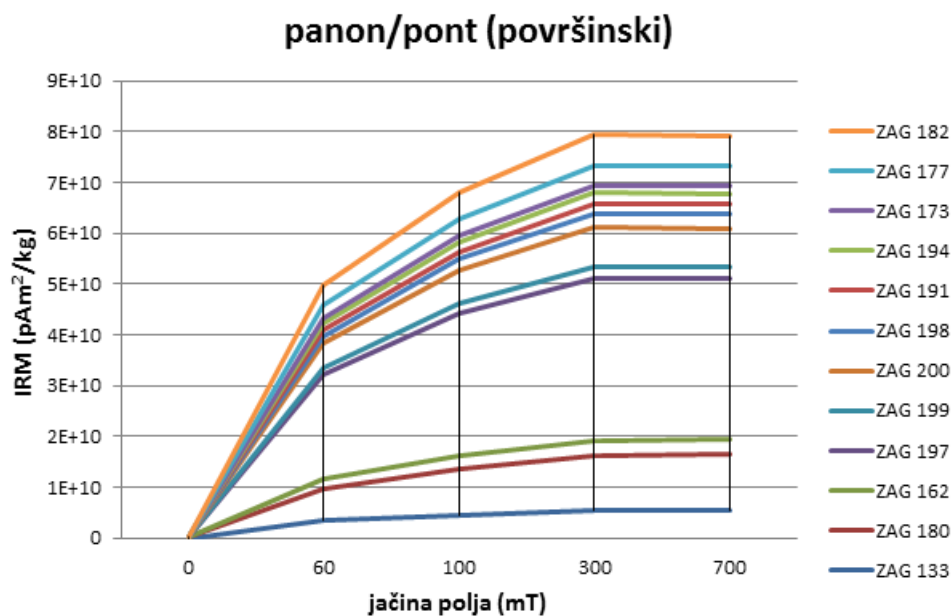
Tablica 7.12. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za geološku jedinicu panon/pont

		<b>ARM 100</b>	<b>x</b>	<b>SIRM</b>	<b>SIRM/x</b>
<b>površinski uzorci</b>					
	Cu	-0,545158			
	Pb	-0,907355	0,852972	0,803997	0,802485
	Zn	-0,897431	0,864493	0,827320	0,742683
	Ag	-0,845920	0,896128	0,895102	0,893876
	U	-0,812470	0,832627	0,832056	0,739207
	Sb	-0,796945	0,677493	0,592984	0,703066
	Ca	-0,546913			
	Na	-0,535483	0,573619	0,572492	
	Hg	-0,784298	0,791765	0,784229	0,705140



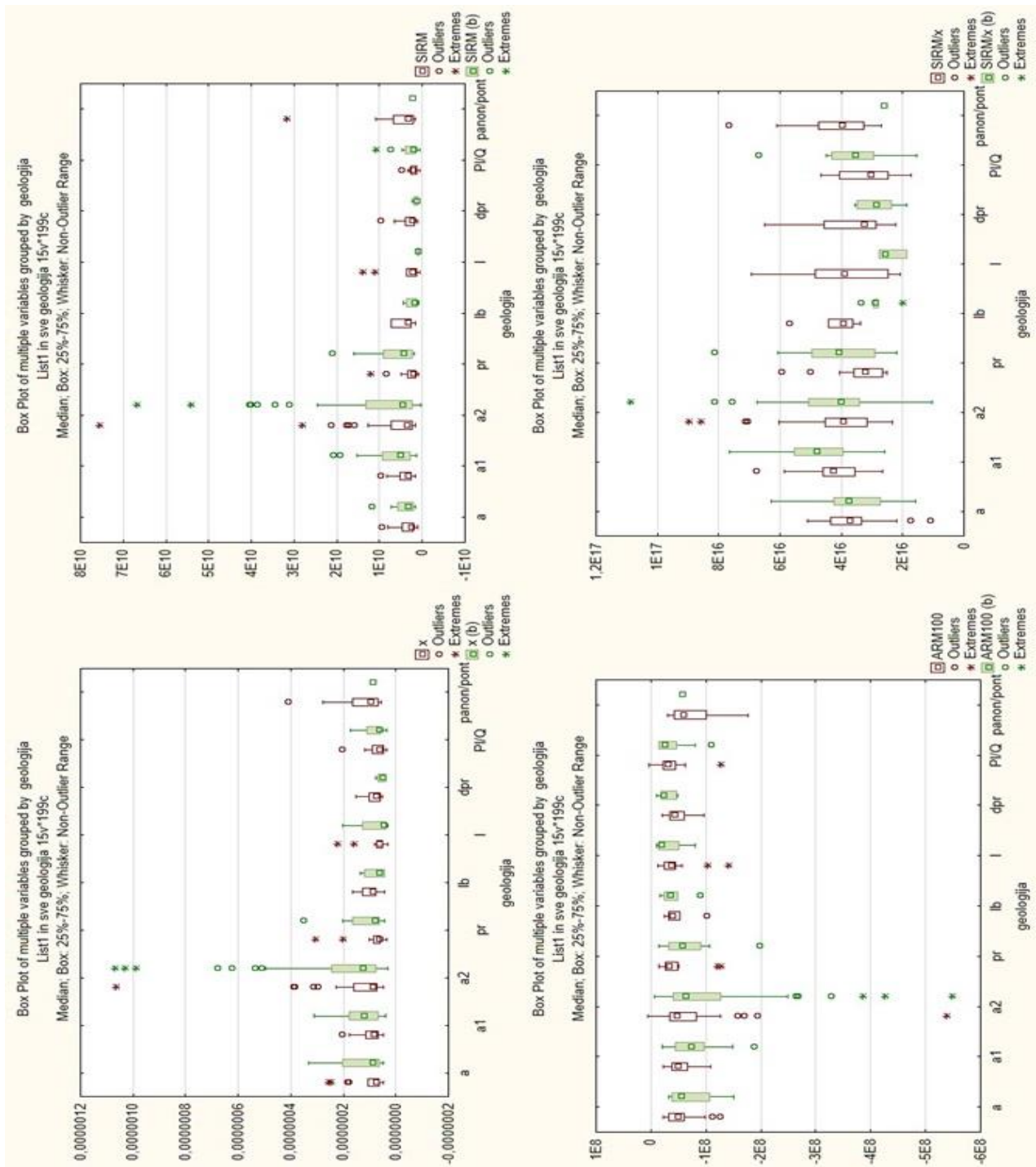
Slika 7.23. Izabrani dijagrami raspršenja za geološku jedinicu panon/pont

Na Slici 7.24. prikazane su IRM krivulje površinskih uzoraka geološke jedinice panon/pont. Na ovom grafu izdvajaju se tri uzorka ( ZAG 162, 180 i 133) sa vrlo niskim IRM vrijednostima, dok svi ostali pokazuju značajno više vrijednosti. To nam govori da su ta tri uzorka vrlo brzo saturirana, odnosno da najvjerojatnije sadrže veća zrna magnetita.



Slika 7.24. IRM graf za geološku jedinicu panon/pont za površinski horizont

7.1.10. Box-Whiskers dijagrami

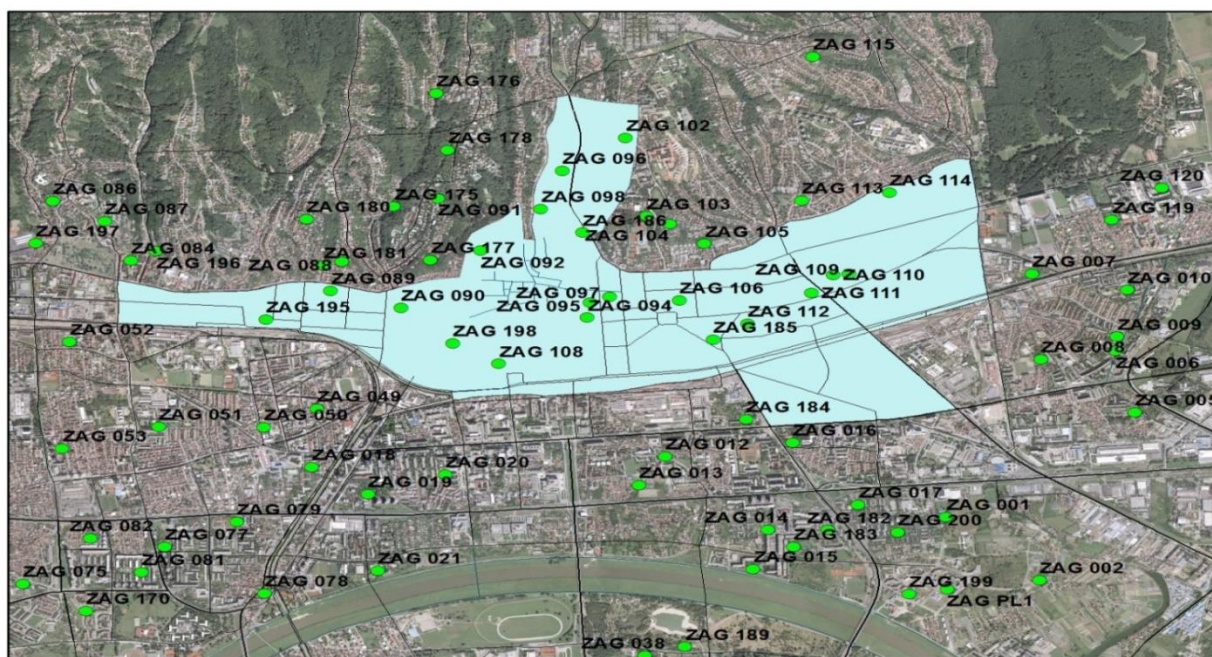


Slika 7.25. Box-whiskers dijagrami prema podjeli geološke građe a) susceptibilitet b) SIRM c) ARM100 d) SIRM/x

Slika 7.25. prikazuje box-whiskers dijagrame prema podjeli geološke građe. Na svakom dijagramu uspoređeni su međusobno uzorci površinskog (crvene oznake) i dubljeg (zelene oznake) horizonta prema magnetskim parametrima (susceptibilitet, SIRM, ARM100, te SIRM/x redom). Općenito uočavamo da uzorci dubljeg horizonta pokazuju veće raspone i veće ekstreme od uzoraka površinskog horizonta za sve parametre i sve geološke jedinice. Između jedinica, najveće raspone i ekstreme pokazuje geološka jedinica  $a_2$  (aluvijalni nanosi druge savske terase) za svaki magnetski parametar.

### 7.2. Magnetska svojstva tla unutar Grada Zagreba: odnos povijesne jezgre grada i današnjeg prostora grada

Druga podjela na kategorije temelji se na podjelu grada po dugotrajnosti naseljenosti. Izdvojene su samo dvije kategorije: stari povijesni grad do 1932. godine i grada nakon 1932. godine do danas. Granice starog povijesnog grada određene su prema „Nacrtu slobodnog i kraljevskog glavnog grada Zagreba“ mjerila 1:10 000 izrađenog u Gradskom Mjerničkom Odsjeku 1932. godine, a prikazane su na Slici 7.26. U toj kategoriji nalazi se ukupno 20 vrtića.



Slika 7.26. Karta izdvojene kategorije „stari povijesni grad“

### 7.2.1 Kategorija stari povijesni grad do 1932.godine

Tablica 7.13. prikazuje osnovnu statističku obradu kategorije „stari povijesni grad“ za magnetske parametre korištene u radu. Manje-više ujednačene vrijednosti magnetskih parametara za površinski i dublji sloj označavaju male promjene veličine i/ili koncentracije magnetskih minerala niz profil.

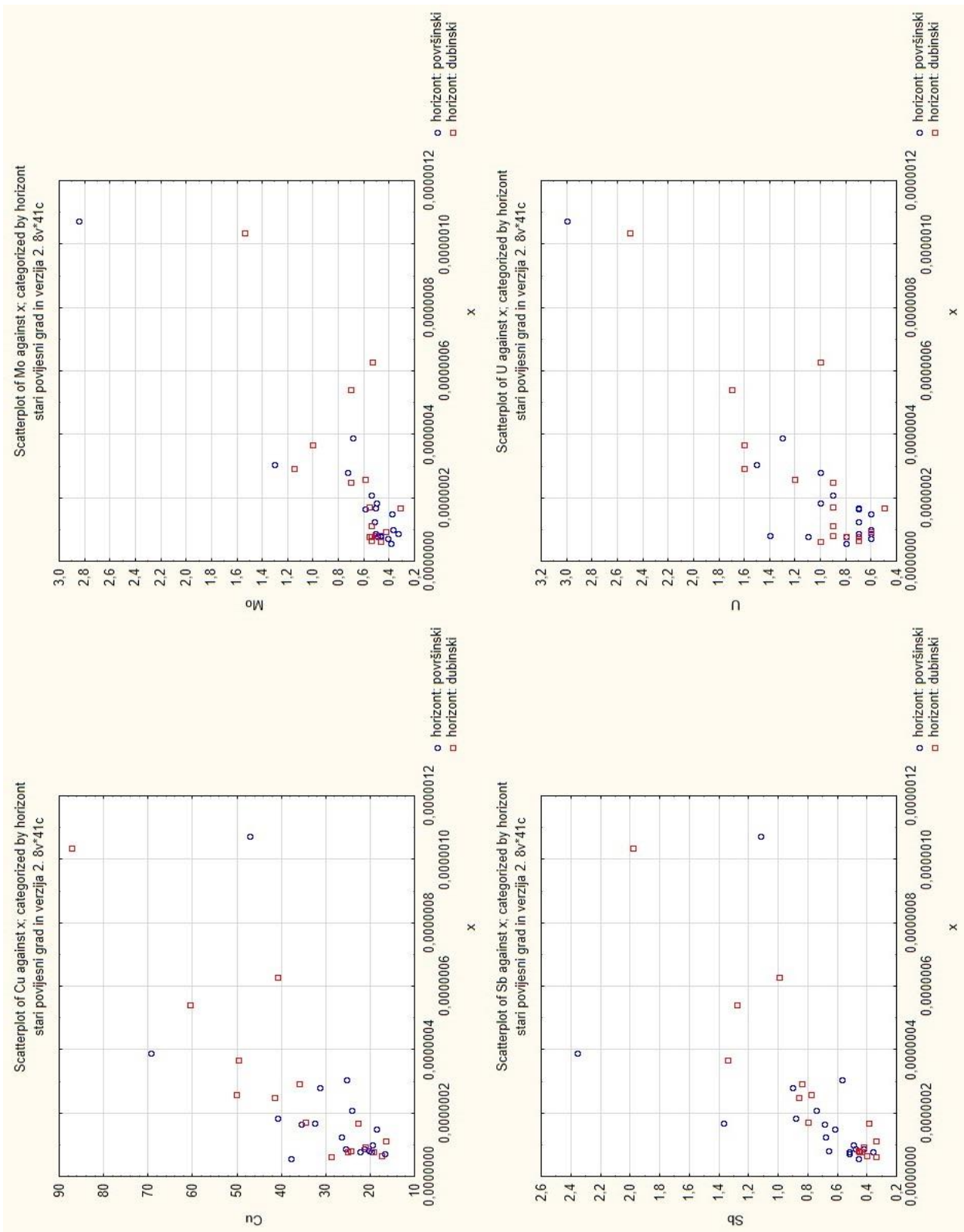
Tablica 7.13. Osnovna statistička obrada točaka kategorije „stari povijesni grad“

Varijable				
	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
ARM100/SIRM	-1,022710E-02	-1,530603E-02	3,725129E-04	4,806734E-03
ARM100/SIRM (dubinski)	-1,208050E-02	-1,995637E-02	-7,264007E-03	3,789733E-03
X	2,016112E-07	5,384974E-08	1,068088E-06	2,350192E-07
x (dubinski)	2,642376E-07	5,794980E-08	1,033707E-06	2,673493E-07
SIRM	1,219008E+10	2,108364E+09	7,569965E+10	1,866805E+10
SIRM (dubinski)	1,154061E+10	1,625774E+09	3,470081E+10	1,114642E+10
SIRM/x	4,864292E+16	3,389101E+16	8,604600E+16	1,551862E+16
SIRM/x (dubinski)	4,395550E+16	2,805487E+16	6,736053E+16	1,240471E+16

U Tablici 7.14. Izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima kategorije „spg“. Površinski uzorci ove kategorije pokazuju izuzetno dobru korelaciju magnetskih parametara ovisnih o koncentraciji magnetskih minerala (x, SIRM) sa molibdenom, uranom i natrijem. Isti trend nastavlja se i u dubljim uzorcima, ali tu izuzetno dobru korelaciju pokazuju još i bakar, cink, antimon i živa. I u površinskim i u dubinskim uzorcima, srebro pokazuje dobru korelaciju sa magnetskim parametrima. Kao i u prošloj podjeli, korelacija elemenata sa ARM parametrom je negativna. Slika 7.27. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za kategoriju „stari povijesni grad“ izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. Dubinski uzorci u ovoj kategoriji pokazuju bolju grupaciju elemenata (molibden, bakar, uran, antimon) sa susceptibilitetom u odnosu na površinske uzorke, što je i za očekivati iz rezultata koeficijenta korelacije.

Tablica 7.14. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za kategoriju „stari povijesni grad“

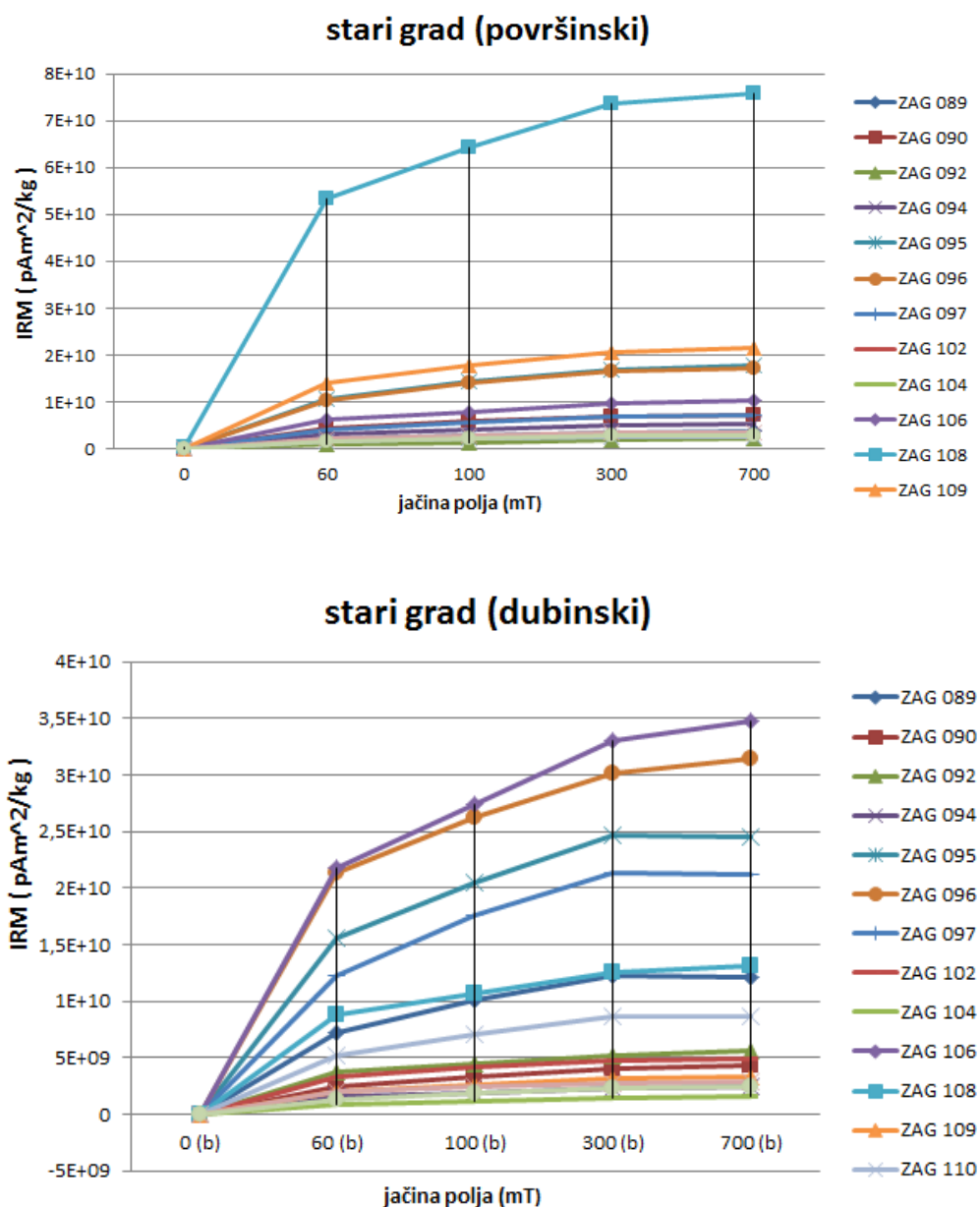
		<b>ARM 100</b>	<b>x</b>	<b>SIRM</b>	<b>SIRM/x</b>
<b>površinski uzorci</b>					
	Mo	-0,963087	0,960577	0,973226	0,549395
	Cu		0,543743		
	Ag	-0,514658	0,661960	0,599576	
	U	-0,897994	0,958046	0,959253	0,534298
	Na	-0,848634	0,925636	0,912713	
<b>dubinski uzorci</b>					
	Mo	-0,851759	0,802037	0,712393	
	Cu	-0,955487	0,904946	0,892904	
	Pb			0,622042	
	Zn	-0,861223	0,837591	0,659731	
	Ag	-0,694812	0,636597	0,544892	
	U	-0,917985	0,859840	0,851140	
	Sb	-0,967051	0,926556	0,926317	
	Na	-0,962398	0,922580	0,947332	
	Hg	-0,875864	0,839707	0,699143	



Slika 7.27. Izabrani dijagrami raspršenja za kategoriju „stari povijesni grad“



Na Slici 7.28. prikazane su IRM krivulje površinskih i dubinskih uzoraka kategorije „spg“. Prema IRM krivuljama površinskih uzoraka vidimo da većina uzoraka doseže vrijednosti  $2 \times 10^{10}$ , dok se jedino izdvaja uzorak Z108 sa značajno višim vrijednostima. Na grafu koji prikazuje IRM krivulje dubinskih uzoraka uočavamo manje maksimalne vrijednosti, ali i veću raspršenost podataka.



Slika 7.28. IRM graf za kategoriju „spg“ za a) površinski i b) dubinski horizont

### 7.2.2. Kategorija grad od 1932.godine do danas

Tablica 7.15. prikazuje osnovnu statističku obradu kategorije „grad“ za magnetske parametre korištene u radu. U ovoj kategoriji, dubinski uzorci pokazuju značajno više vrijednosti od površinskih. To nam govori da se koncentracija magnetskih minerala (x, SIRM) i udio MD minerala (SIRM/x) povećava niz profile unutar ove kategorije.

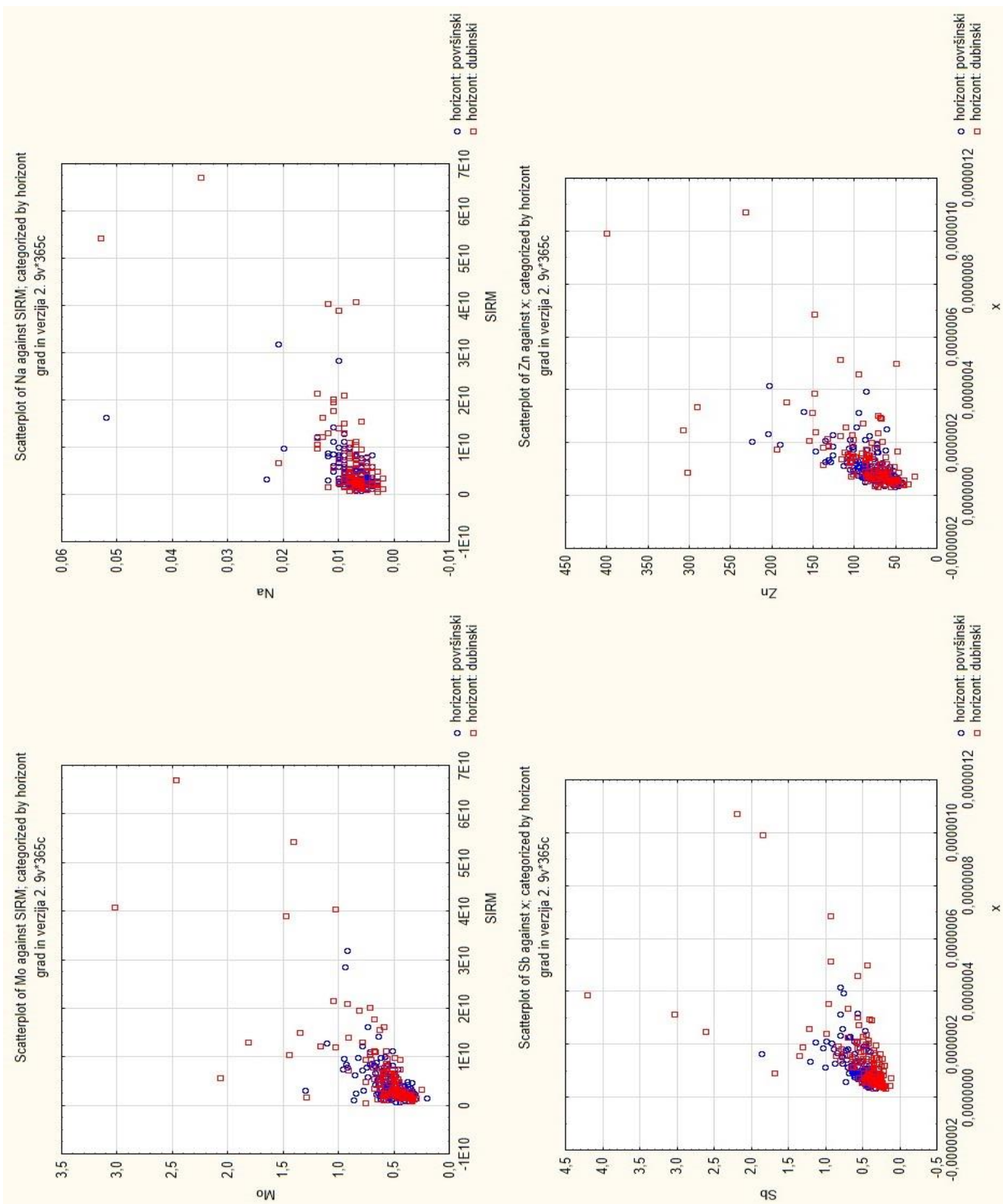
Tablica 7.15. Osnovna statistička obrada točaka kategorije „grad“

Varijable				
	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
ARM100/SIRM	-1,490473E-02	-3,264533E-02	4,939319E-03	4,953360E-03
ARM100/SIRM (dubinski)	-1,463151E-02	-3,363185E-02	-4,842381E-03	5,956720E-03
x	9,857497E-08	3,098518E-08	4,119346E-07	6,102499E-08
x (dubinski)	1,424794E-07	2,866084E-08	1,069989E-06	1,500783E-07
SIRM	4,116554E+09	6,151555E+08	3,173386E+10	3,934411E+09
SIRM (dubinski)	6,938018E+09	3,157020E+08	6,687854E+10	9,759886E+09
SIRM/x	3,850815E+16	1,101118E+16	8,974370E+16	1,147480E+16
SIRM/x (dubinski)	4,166493E+16	1,042433E+16	1,088809E+17	1,551958E+16

U Tablici 7.16. Izdvojene su korelacije izabranih elemenata i magnetskih parametara u uzorcima kategorije „g“. Kao i u prethodnoj kategoriji, magnetski parametri koreliraju sa molibdenom, cinkom, uranom, natrijem i antimonom u površinskim uzorcima, te dodatno sa srebrom i bakrom u dubinskim uzorcima. Za razliku od prethodne kategorije „spg“, u ovoj kategoriji korelacije su nešto slabije, premda još uvijek dobre. Vrijedi izdvojiti korelacije molibdena sa svim magnetskim parametrima kao izuzetno dobre, za razliku od svih drugih elemenata. Slika 7.29. prikazuje izabrane dijagrame raspršenja za kategoriju „grad“ izvučeni na temelju dobrih do izuzetno dobrih koeficijenta korelacije. U ovoj kategoriji, oba horizonta pokazuju dobru grupaciju elemenata (molibden, antimon, cink i natrij) s magnetskim parametrima.

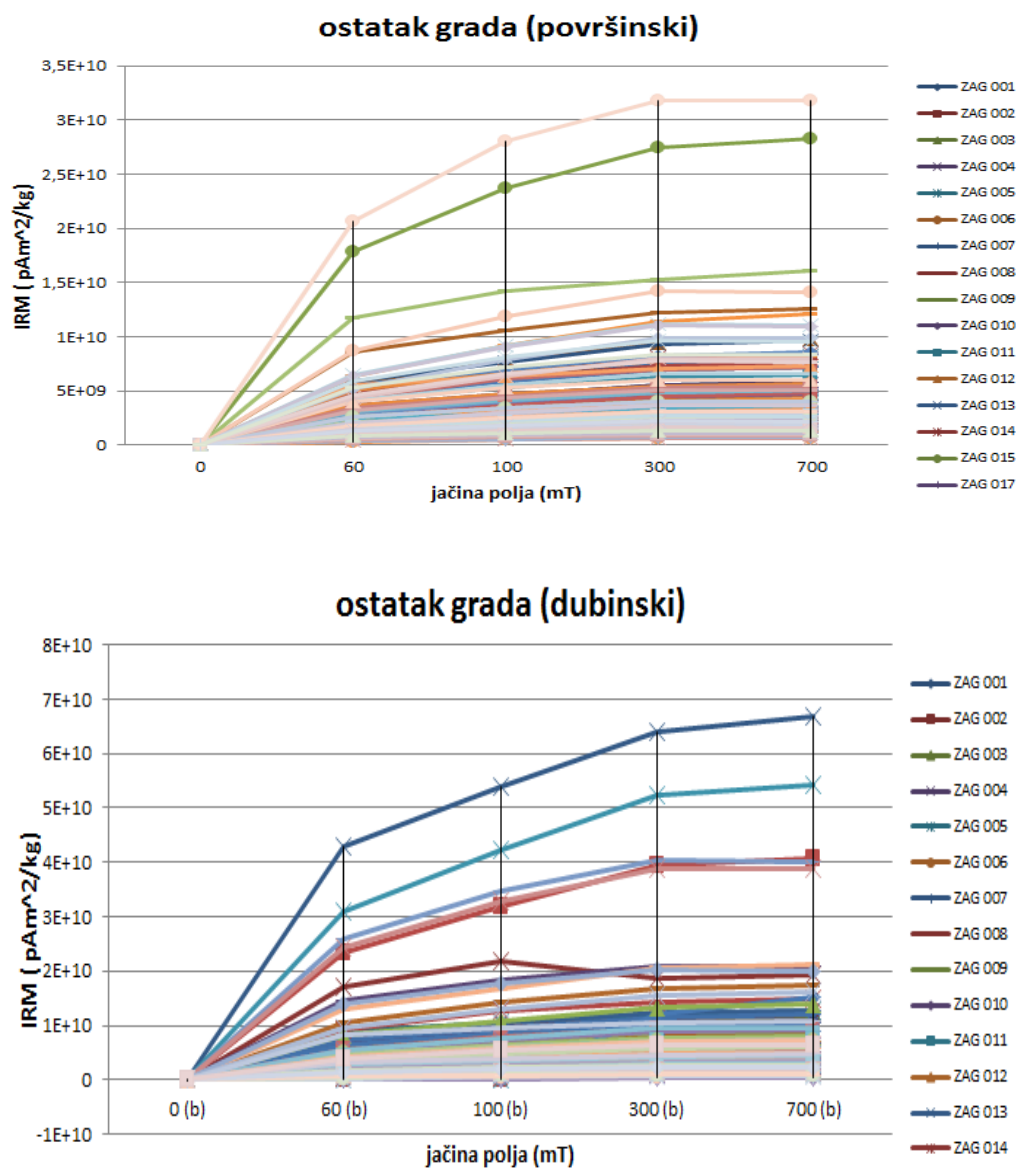
Tablica 7.16. Izdvojeni dobri i izuzetno dobri koeficijenti korelacije (r) elemenata s magnetskim parametrima za kategoriju „g“

		<b>ARM 100</b>	<b>x</b>	<b>SIRM</b>	<b>SIRM/x</b>
<b>površinski uzorci</b>					
	Mo	-0,641823	0,565106	0,560841	
	Zn	-0,670833	0,635898	0,658640	
	U	-0,637926	0,681444	0,675217	
	Sb	-0,553456	0,541593	0,523337	
	Na	-0,539086	0,576057		
<b>dubinski uzorci</b>					
	Mo	-0,739019	0,728151	0,731736	
	Cu		0,581636		
	Zn	-0,657587	0,651232	0,578790	
	Ag	-0,631949	0,610567	0,561886	
	U	-0,672346	0,605904	0,659401	
	Sb	-0,548987	0,554677		
	Na	-0,661812	0,544675	0,723426	0,549800



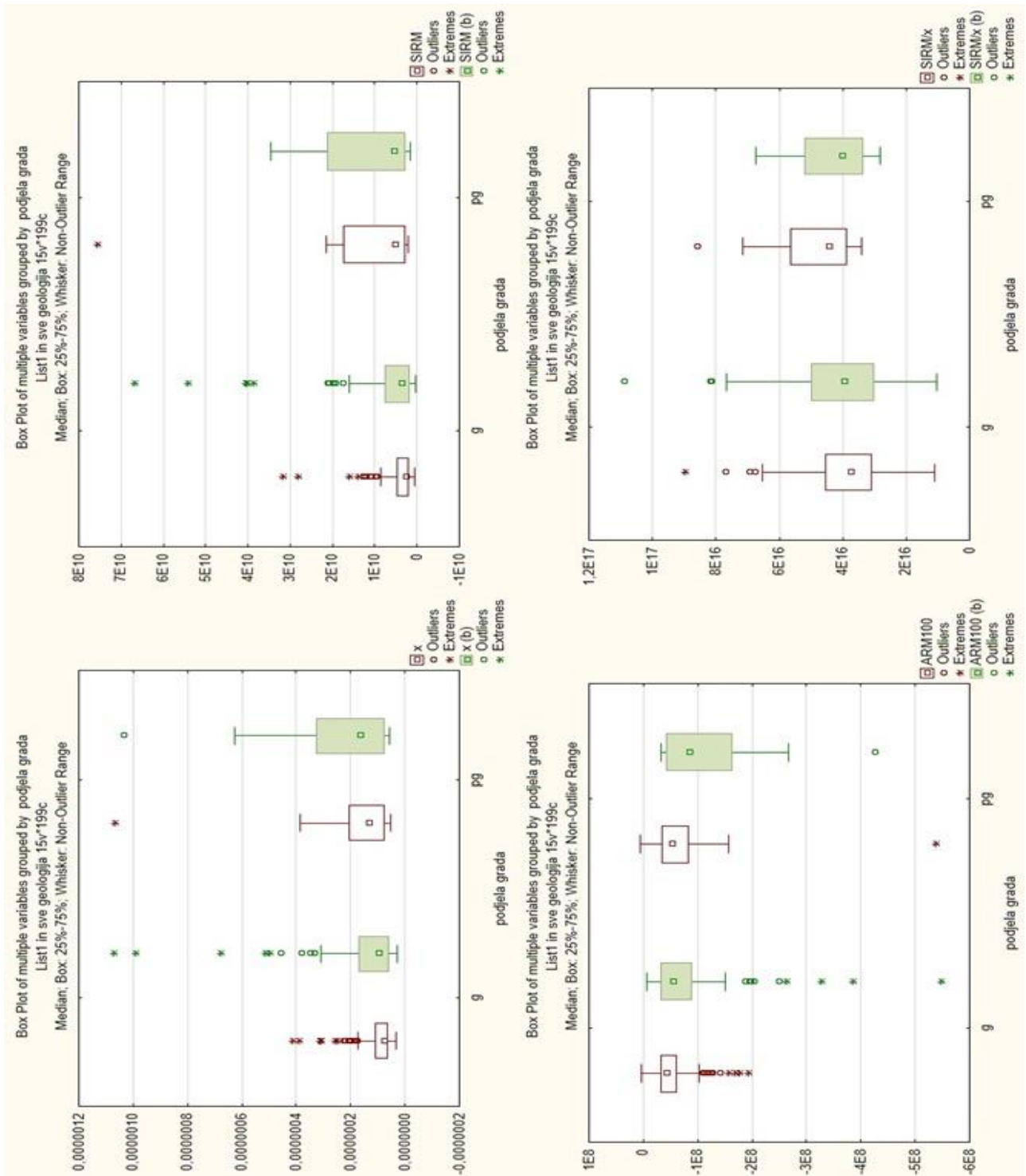
Slika 7.29. Izabrani dijagrami raspšenja za kategoriju „grad“

Na Slici 7.30. prikazane su IRM krivulje površinskih i dubinskih uzoraka kategorije „g“. Prema IRM krivuljama za površinske uzorke možemo uočiti da većina uzoraka doseže maksimalne vrijednosti od  $1,5 \times 10^{10}$ , uz iznimke lokacija Z 197 i Z 53, sa skoro pa dvostrukim vrijednostima. U prosjeku, dublji uzorci pokazuju nešto veće vrijednosti nego površinski. Također par uzoraka pokazuje veće vrijednosti od većine, a to su Z 100, Z 84, Z 43 te Z 13.



Slika 7.30. IRM graf za kategoriju „g“ za a) površinski i b) dubinski horizont

7.2.3. Box-whiskers dijagrami

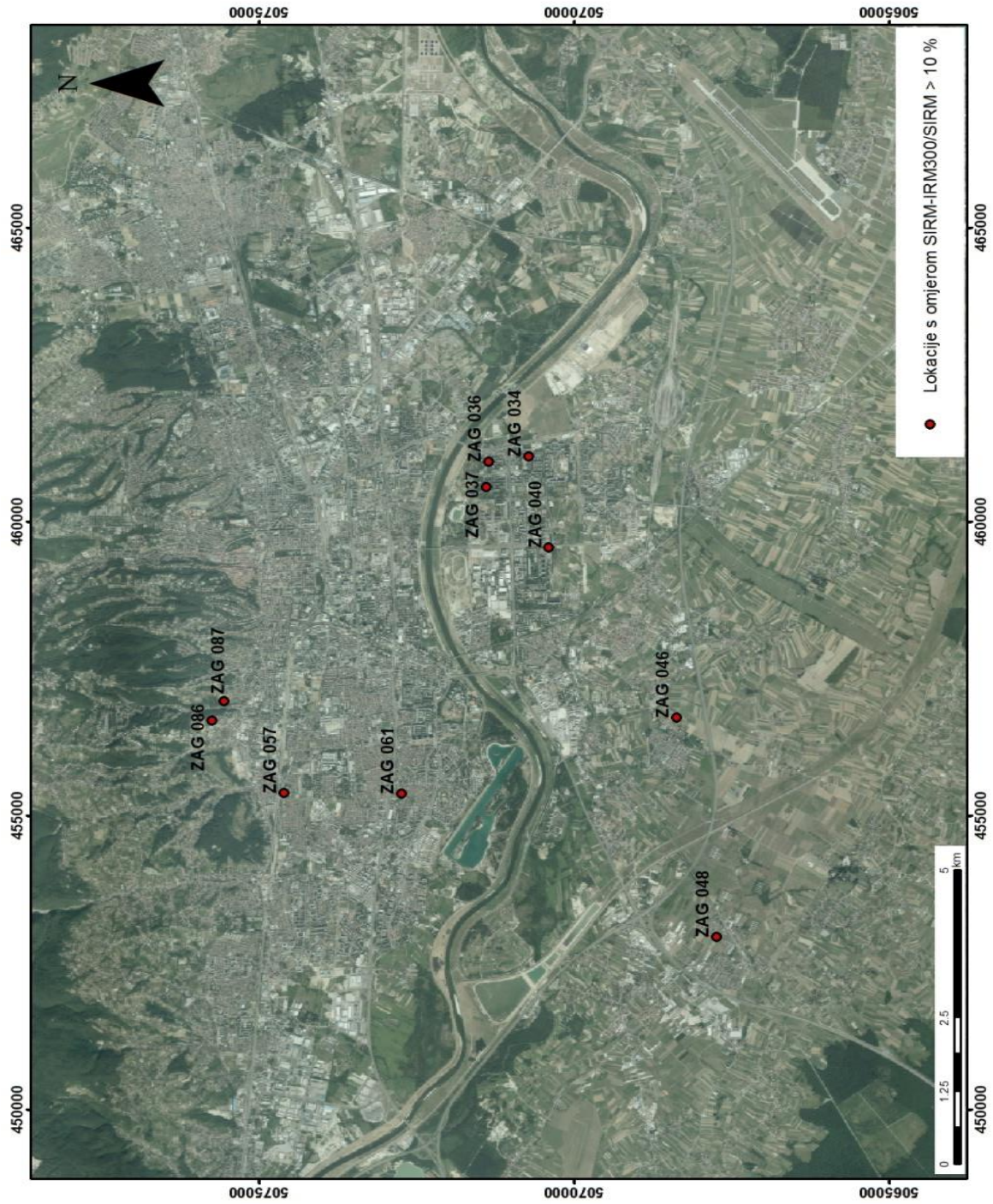


Slika 7.31. Box-whiskers dijagrami prema podjeli grad a) susceptibilitet b) SIRM c) ARM100 d) SIRM/x

Na Slici 7.31. prikazani su box-whiskers dijagrami u podjeli grada. Crvene oznake na svakom dijagramu označavaju raspone površinskih, a zelene oznake dubljih uzoraka. Kao i u slučaju podjele po geološkoj građi, na manje-više svim grafovima uočavamo veći raspon i veće ekstreme u dubljim uzorcima. Između kategorija, uzorci povijesnog grada pokazuju nešto više vrijednosti magnetskih parametara i u dubljim i u površinskim uzorcima.

### 7.3. Omjer SIRM-IRM<sub>300</sub>/SIRM

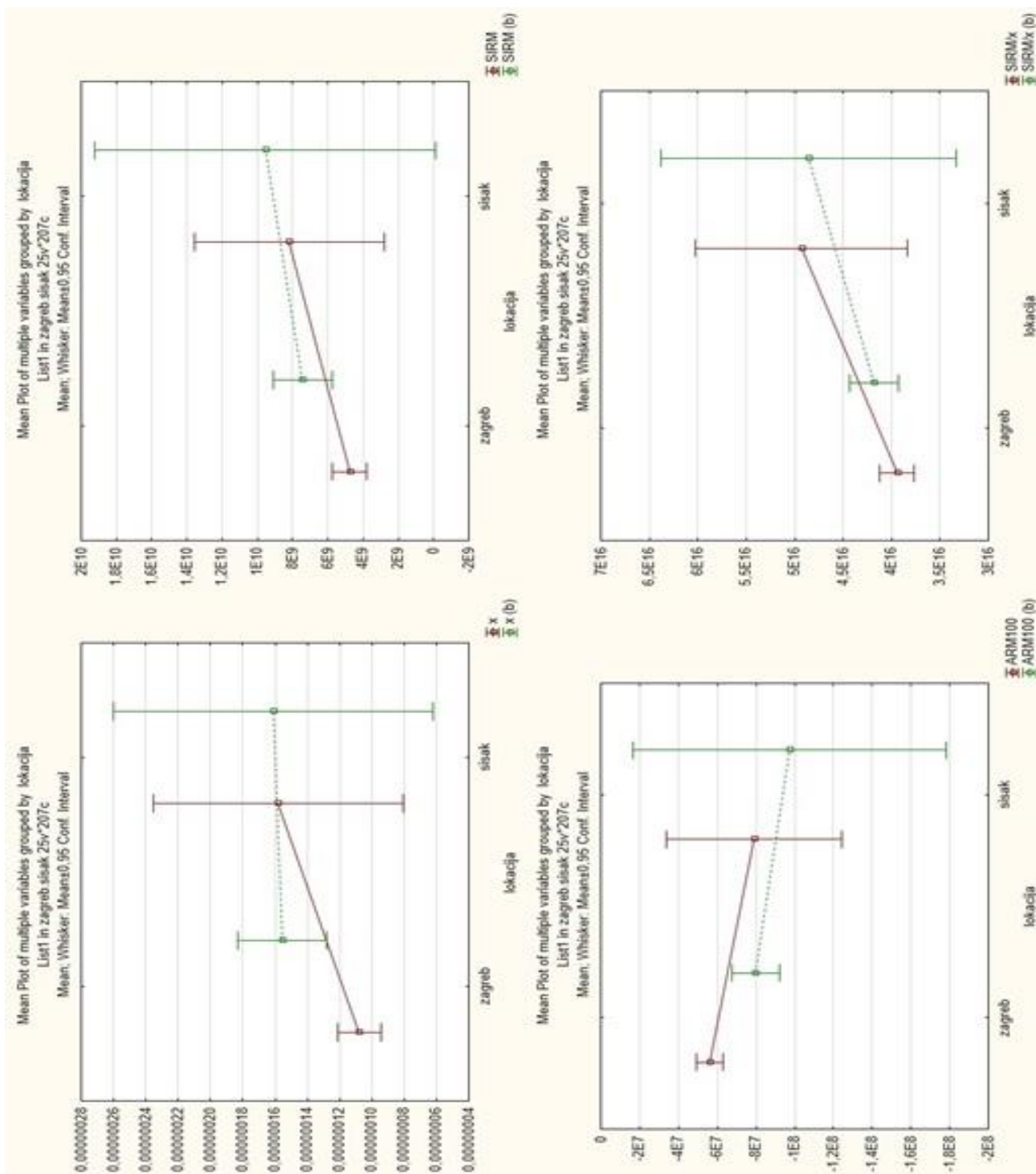
Omjer SIRM-IRM<sub>300</sub>/SIRM veći od 10% indikativan je za „tvrde“ minerale, odnosno za minerali kojima je potrebno veće polje da dostignu saturaciju. Najčešće se radi o mineralu hematitu. U skupu uzoraka tla vrtića Zagreba izdvojili su se deset uzoraka, svi sa dubljeg horizonta uzorkovanja: Z34 (30,9%), Z36 (31,5%), Z37 (27,5%), Z40 (31,7%), Z46 (31,4%), Z48 (32,2%), Z57 (22,1%), Z61 (17,7%), Z86 (12,2%) i Z87 (10,1%). Lokacije su prikazane na karti na Slici 7.32. Taj zaključak može se donesti i iz čitanja IRM krivulja uzoraka. Manje više, svi uzorci imaju krivulje indikativne za meke minerale, najvjerojatnije magnetit. To vidimo po smanjenju nagiba krivulje nakon izlaganja polju jačine 300 mT. Tvrdi magnetski minerali, koji dostižu saturaciju na puno višim vrijednostima jačine polja, pokazivali bi i dalje jaki nagib. Svih deset lokacija sa omjerom SIRM-IRM<sub>300</sub>/SIRM većim od 10% nalaze se na holocenskim naslagama, tj. na aluvijalnim nanosima prve i druge Savske terase.



Slika 7.32. Karta lokacija s omjerom SIRM-IRM300/SIRM većim od 10%



## 7.4. Usporedba magnetskih parametara Zagreba i Siska



Slika 7.33. Usporedba magnetskih parametara tla vrtića Zagreba i Siska a) susceptibilitet b)

SIRM c) ARM100 d) SIRM/x

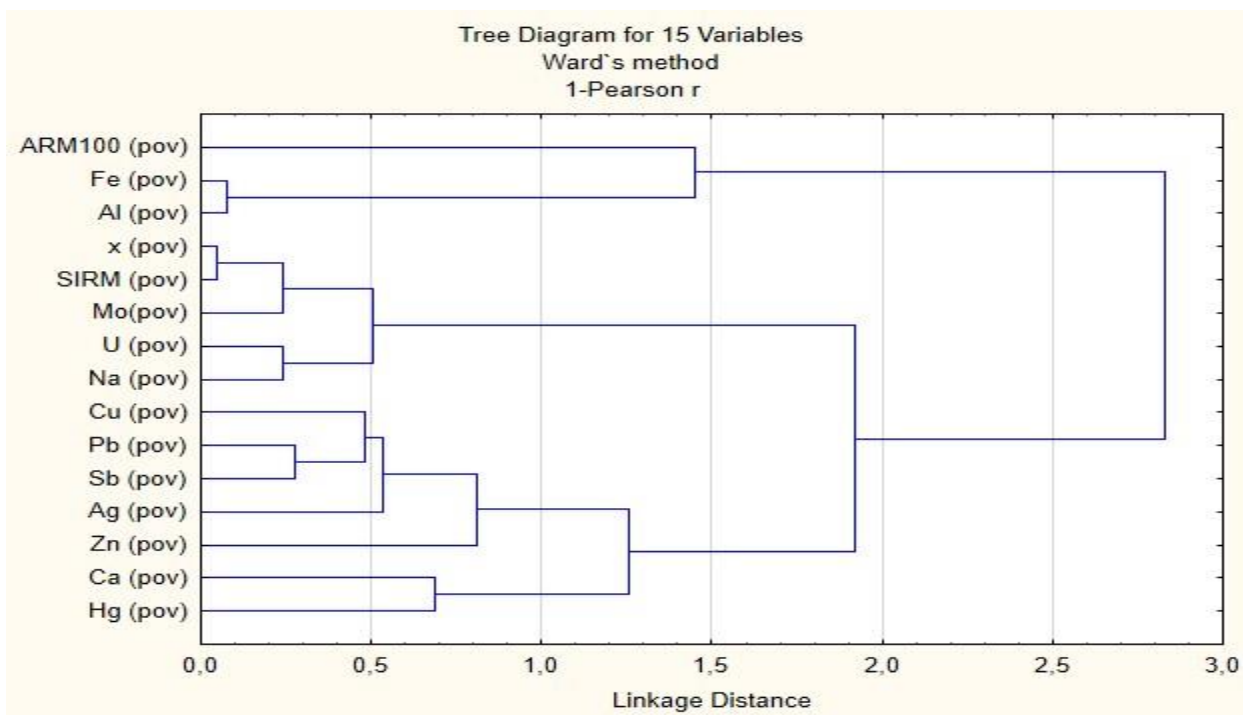
Na Slici 7.33. prikazana je grafička statistička obrada (means with error dijagrami) rezultata magnetskim mjerenja (redom susceptibilitet, SIRM, ARM, te SIRM/x) za lokacije gradova Zagreba i Siska. Crvene oznake predstavljaju uzorke Grada Zagreba, a zelene Grada Siska. Na dijagramima koji prikazuju susceptibilitet, SIRM i SIRM/x možemo uočiti da uzorci Zagreba pokazuju niže vrijednosti u površinskom horizontu, ali vrlo slične vrijednosti za dublji horizont. To se može biti indikativno ili za veće koncentracije magnetskih minerala u površinskim uzorcima Grada Siska ili za razrjeđenje mjerenja zbog velikog broja uzoraka Zagreba. Parametar ARM100 indikativan za koncentracije MD zrna unutar uzorka viši je za uzorke Siska nego Zagreba.

## 8. Rasprava

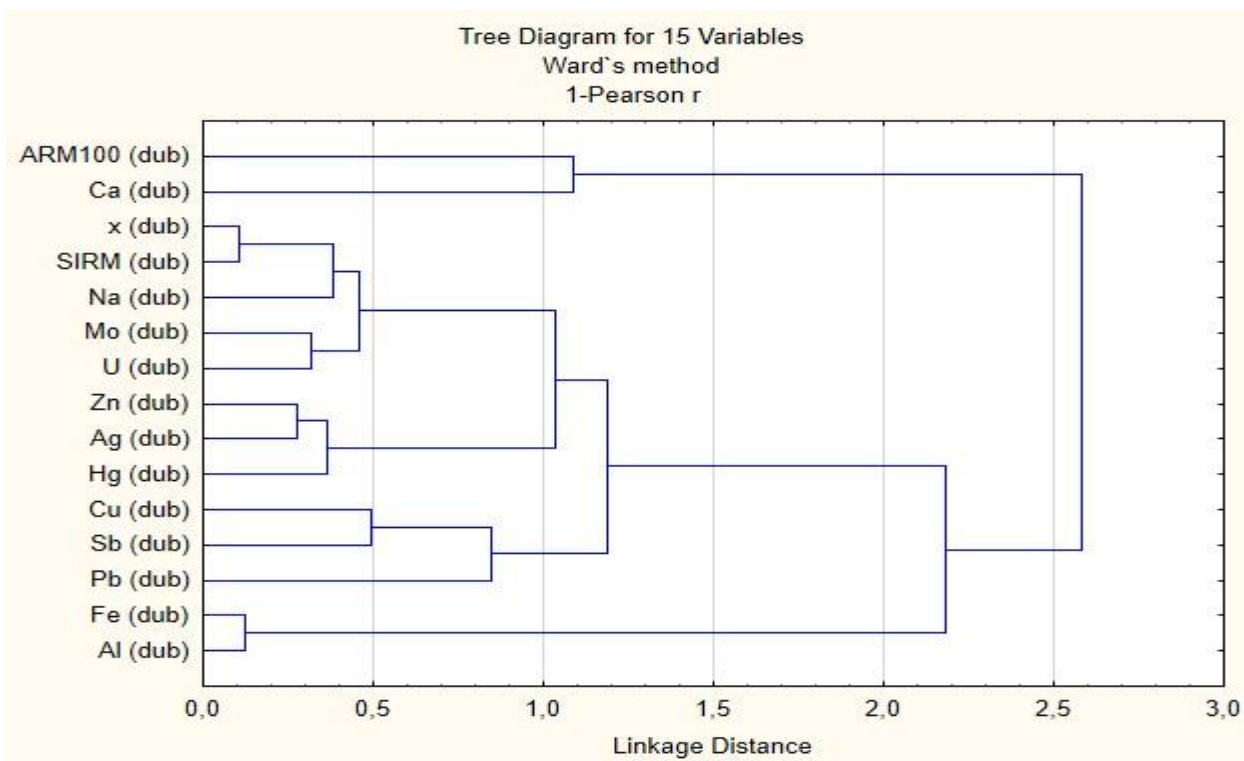
Na Slikama 8.1. i 8.2. prikazani su drvoliki dijagrami (dendrogrami) dobiveni multivarijantnom statistikom (r klaster analiza), posebno za površinske uzorke i posebno za dubinske uzorke. Na prvom stupnju sličnosti povezuju se međusobno magnetski parametri s magnetskim, te geokemijski s geokemijskim parametrima. Na primjer, u površinskim i dubinskim uzorcima, susceptibilitet i SIRM su usko povezani, što je i za očekivati jer oba parametra govore o ukupnoj koncentraciji magnetskih čestica unutar uzorka. U površinskim uzorcima, usko su povezani željezo i aluminij, uran i natrij, te antimon i olovo, a u dubinskim uzorcima također željezo i aluminij, molibden i uran, cink i srebro te bakar i antimon. Već na sljedećem stupnju sličnosti dolazi do povezivanja magnetskih parametara sa elementima. U površinskim uzorcima spajaju se susceptibilitet i SIRM sa molibdenom, a zatim i sa uranom i natrijem, dok se u dubinskim uzorcima prvo spajaju sa natrijem, pa zatim sa uranom i molibdenom. Anhisterezijski remanentni magnetizam (ARM100) u površinskim uzorcima pokazuje vezu sa željezom i aluminijem, dok se u dubinskim uzorcima spaja s kalcijem. Rezultati ove statističke obrade govore nam da iako nema direktne povezanosti magnetskih parametara sa koncentracijama elemenata/teških metala, ona ipak postoji između magnetskih parametara koji govore o koncentraciji magnetskih minerala (susceptibilitet i SIRM) i molibdena, natrija i urana. Upravo ti elementi imaju izuzetno dobre korelacijske koeficijente s magnetskim parametrima u površinskim i u dubinskim uzorcima.

Miko et al. (2010) izradili su studiju o procjeni zagađenja tla vrtića Grada Zagreba te izdvojili ukupno 30 lokacija na kojima koncentracije PTE prelaze granične u površinskim i/ili dubljim uzorcima (Prilog 4). Od tih 30 lokacija, 9 se nalazi u kategoriji „stari povijesni grad“, dok ostalih 21 pada u kategoriju „grad“. Međutim zanimljivo je da se 21 lokacija nalazi na holocenskim naslagama, koje generalno pokazuju najviše mjerene vrijednosti magnetskih parametara, dok samo 9 pada u ostale geološke jedinice. Iz toga se može zaključiti da veza magnetometrije s geokemijskim metodama analiza ima više veze s geološkom građom i regionalnom geološkom signaturom nego s duljinom vremenskog perioda izloženosti tla antropogenom utjecaju. Ovdje treba uzeti u obzir i činjenicu da urbana tla centra grada ne predstavljaju izvorno tlo, već mješavinu materijala navezenog tijekom godina. Također na 20

od 30 lokacija potencijalno opterećenje zabilježeno je u dubljem horizontu, što potvrđuje vezu geokemijskih i magnetometrijskih mjerenja. U pravilu više vrijednosti koncentracija magnetskih minerala dobivane za dublji horizont u odnosu na površinski.



Slika 8.1. Prikaz r klaster analize magnetometrijskih i geokemijskih podataka za površinske uzorke



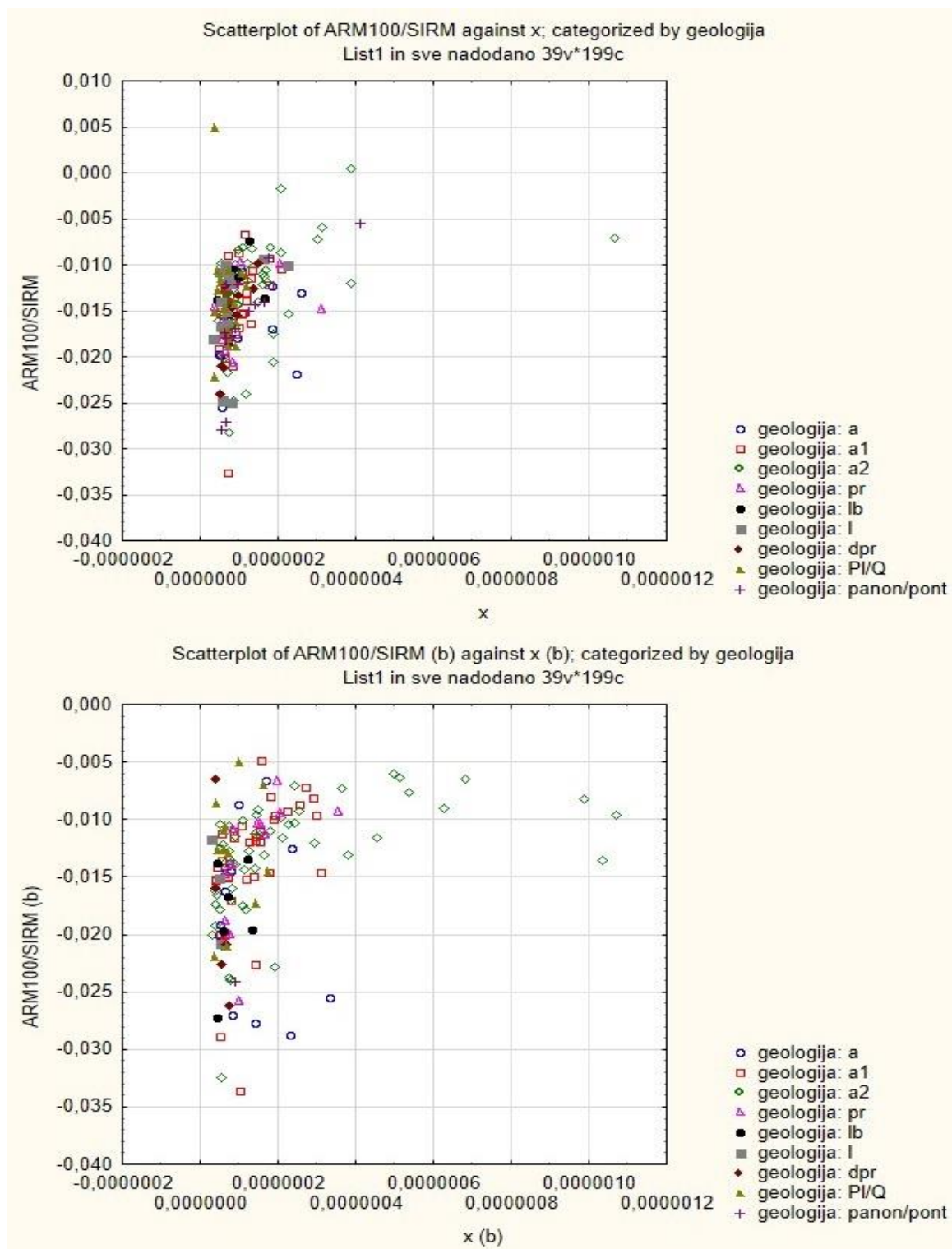
Slika 8.2. Prikaz r klaster analize magnetometrijskih i geokemijskih podataka za dubinske uzorke

### 8.1 Utjecaj geološke podloge na magnetizam tla

Općenito se da zaključiti da unutar korelacijskih matrica elementi uvijek pokazuju negativnu korelaciju sa ARM100 parametrom, te najčešće pozitivnu korelaciju sa susceptibilitetom, SIRM, te SIRM/x. Izuzetno dobre i dobre korelacije teških metala sa susceptibilitetom i SIRM-om mogu se koristiti kao indikator koncentracije teških metala u tlu. U površinskim horizontima, magnetski parametri (susceptibilitet, SIRM, SIRM/x) imaju najbolju korelaciju s molibdenom, uranom, antimonom, olovom, cinkom i natrijem, te nešto manju, ali još uvijek dobru korelaciju s bakrom, srebrom i živom. U dubljem horizontu, susceptibilitet i SIRM najbolje koreliraju s cinkom, molibdenom, bakrom, olovom, srebrom i antimonom, te nešto manju, ali još uvijek dobru korelaciju s uranom i natrijem, a SIRM/x s natrijem. Sai Leung et al. (2002) vršili su slična magnetska i geokemijska istraživanja na tlima vrtića Hong Konga. Njihovi rezultati pokazuju dobru korelaciju olova, cinka i bakra sa magnetskim parametrima, što objašnjavaju adsorpcijom teških metala na magnetska zrna

sačinjena većinom od željezovih oksida i hidroksida. Sličnosti u dobivenim rezultatima između dva istraživanja upućuju na sličnosti između urbanih okoliša pod antropogenim utjecajem, tj. potvrđuju ideju da je antropogeni utjecaj na okoliš značajniji faktor od geološke podloge.

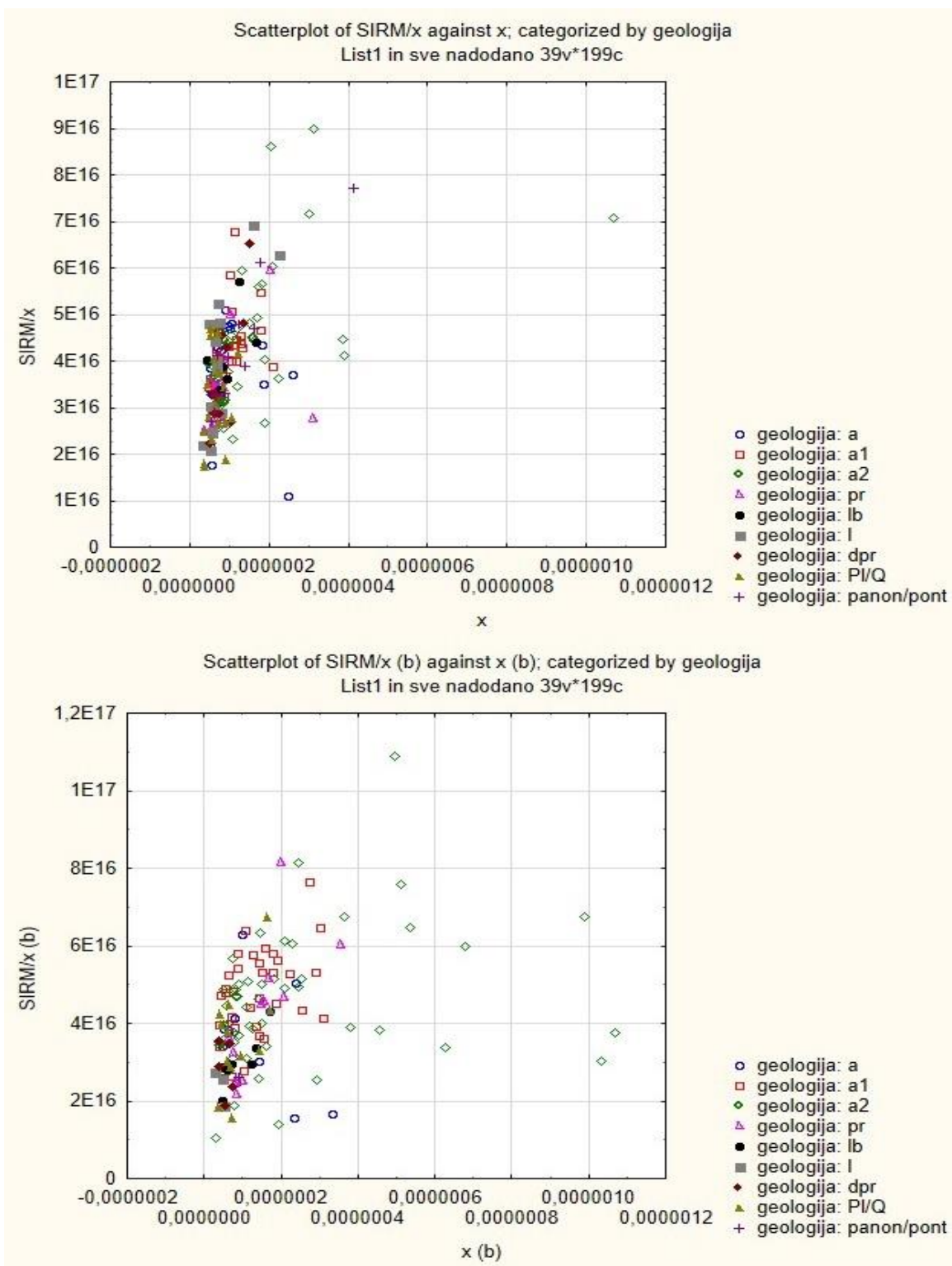
Usporedbom IRM krivulja dobivenih za svaku pojedinu geološku jedinicu, posebno po površinskom i dubljem horizontu, također može doprinijeti određenim zaključcima. Geološke jedinice  $a_1$  i  $a_2$  pokazuju najviše mjerene IRM vrijednosti, što znači da u aluvijalnim terasama Save kao magnetske čestice prevladava sitnozrnat MD magnetit. Općenito, sve kvartarne jedinice (uz ranije spomenute još  $a$  i  $pr$ ), pokazuju više vrijednosti IRM-a u odnosu na ostale jedinice. Značajno najniže mjerene IRM vrijednosti pojavljuju se unutar geološke jedinice  $lb$  (barski les). U istoj jedinici značajna je i niska korelacija elemenata sa magnetskim parametrima, što sve može biti povezano s visokim udjelom karbonata.



Slika 8.3. Usporedba ukupne koncentracije magnetskih minerala i udjela SD zrna u podjeli po geološkoj građi za a) površinski i b) dublji horizont

Vrijednosti susceptibiliteta unutar površinskih uzoraka tla vrtića za Grad Zagreb manje su više ujednačene u svim uzorcima, što znači da su koncentracije svih magnetskih minerala slične na cijelom području. ARM100/SIRM parametar pokazuje veći raspon, pa se može izdvojiti geološka jedinica  $a_2$  kao uzorci sa najvišom koncentracijom stabilnih SD magnetita (Slika 8.3.). Uzorci jedinice  $a_2$  također se izdvajaju i unutar uzoraka dubljeg horizonta. Općenito, u dubljem horizontu zapaža se veći raspon koncentracija magnetskih minerala, tj. s povećanjem koncentracije magnetskih minerala ( $x$ ), povećava se i udio stabilnih SD minerala. Slika 8.4. prikazuje odnos ukupne koncentracije magnetskih minerala u uzorcima i udio MD minerala. Uzorci dubljeg horizonta pokazuju veći raspon ukupne koncentracije magnetskih minerala u odnosu na površinske uzorke. Najviše vrijednosti udjela MD zrna u oba horizonta imaju uzorci aluvijalnih nanosa savskih terasa ( $a_1$  i  $a_2$ ), što je i za očekivati jer na tim područjima dolazi do nanosa uzvodnog materijala (plavljenja) i nakupljanja magnetskih čestica svih industrija uzvodno uz Savu. Te jedinice predstavljaju regionalnu geološku signaturu. Također je i za očekivati značajno povišenje vrijednosti nizvodno uz Savu, zbog nakupljanja antropogenih magnetskih čestica nastalih ljudskom aktivnošću u Zagrebu. S druge strane, geološke jedinice pleistocena, te panona i ponta predstavljaju lokalnu geološku signaturu. Unutar podjele po geološkoj građi, najviše vrijednosti magnetskih parametara (najviše koncentracije magnetskih minerala, SD i MD zrna) dobivene su za holocenske naslage; aluvijalne nanose Save, deluvij i proluvij.



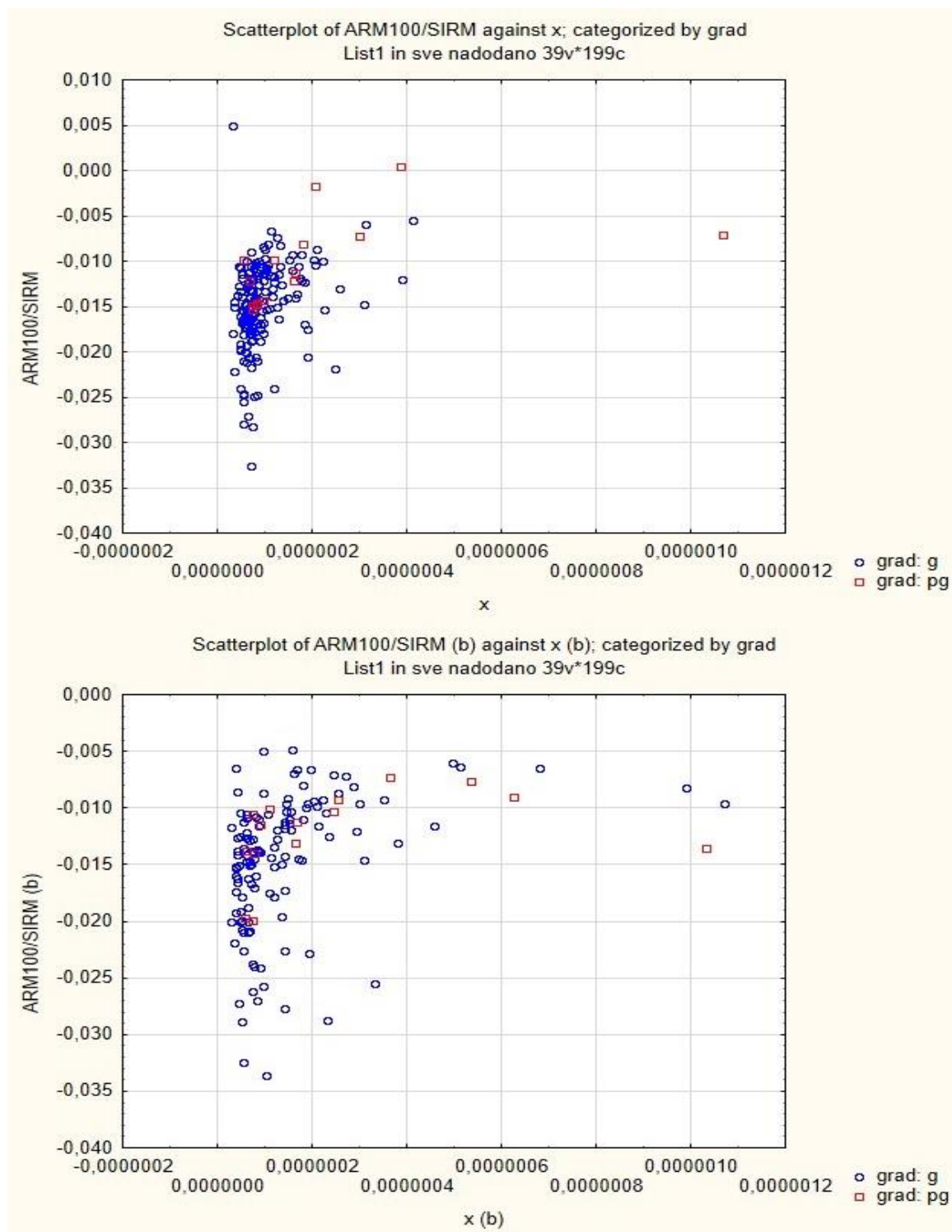


Slika 8.4. Usporedba ukupne koncentracije magnetskih minerala i udjela MD zrna u podjeli po geološkoj građi za a) površinski i b) dublji horizont

## 8.2. Usporedba magnetskih svojstva tala povijesne jezgre grada i šireg današnjeg područja grada

Promatrajući korelacije elemenata i magnetskih parametara općenito uočavamo puno više korelacijske koeficijente u kategoriji „stari povijesni grad“. To se može objasniti činjenicom da su ta tla puno duže pod antropogenim utjecajem. U obje kategorije, u dubljem horizontu više elemenata korelira s magnetskim parametrima. Time možemo pretpostaviti više koncentracije magnetskim minerala u dubljem horizontu i/ili manje dimenzije čestica koje mogu na svoje vanjske površine adsorbirati veće količine teških metala. Elementi zajednički za površinske i dubinske horizonte u obje kategorije su molibden, uran i natrij, dok se dobra do izuzetno dobra korelacija u dubljim uzorcima još javlja s bakrom, antimonom, živom, srebrom i cinkom. Kao i u prošloj podjeli, sve korelacije s magnetskim parametrom ARM100 su negativne, dok su sve ostale izdvojene korelacije pozitivne. Schmidt et al. (2005) na području Bradforda (UK) pokazuju jaku pozitivnu korelaciju magnetskog susceptibiliteta sa željezom, pogotovo za površinske uzorke, dok Strzyszcz (1993) nalazi dobru korelaciju susceptibiliteta s cinkom i olovom, te slabu negativnu korelaciju sa željezom. Rezultati ovog rada više se poklapaju sa Strzyszcz-evim rezultatima, pogotovo ako se uzme u obzir činjenica da su u tom radu uzorkovana tla u blizini industrija koje koriste ugljen. Takva povijest industrije slična je zagrebačkom području.

Iz IRM krivulja obje kategorije možemo okvirno zaključiti da su vrijednosti „mekog IRM“ u uzorcima kategorije „stari povijesni grad“ dosegle veće vrijednosti, kako u površinskim tako i u dubljim uzorcima. Uzorci kategorije „stari povijesni grad“ imaju više koncentracije feromagnetičnih minerala, kao magnetita, u odnosu na uzorke tla kategorije „grad“. Takvi rezultati bili su i za očekivati, ako se uzme u obzir dugotrajna urbana naseljenost tog područja i dugotrajna izloženost antropogenom djelovanju. U normalnim urbanim uvjetima dolazi do nakupljanja veće koncentracije magnetskih minerala u dubljim uzorcima, dok se u starijem urbanom tlu, u kojem je češće miješanje materijala, ali i povećani unos navezenog materijala, ta logika ne može primijeniti.

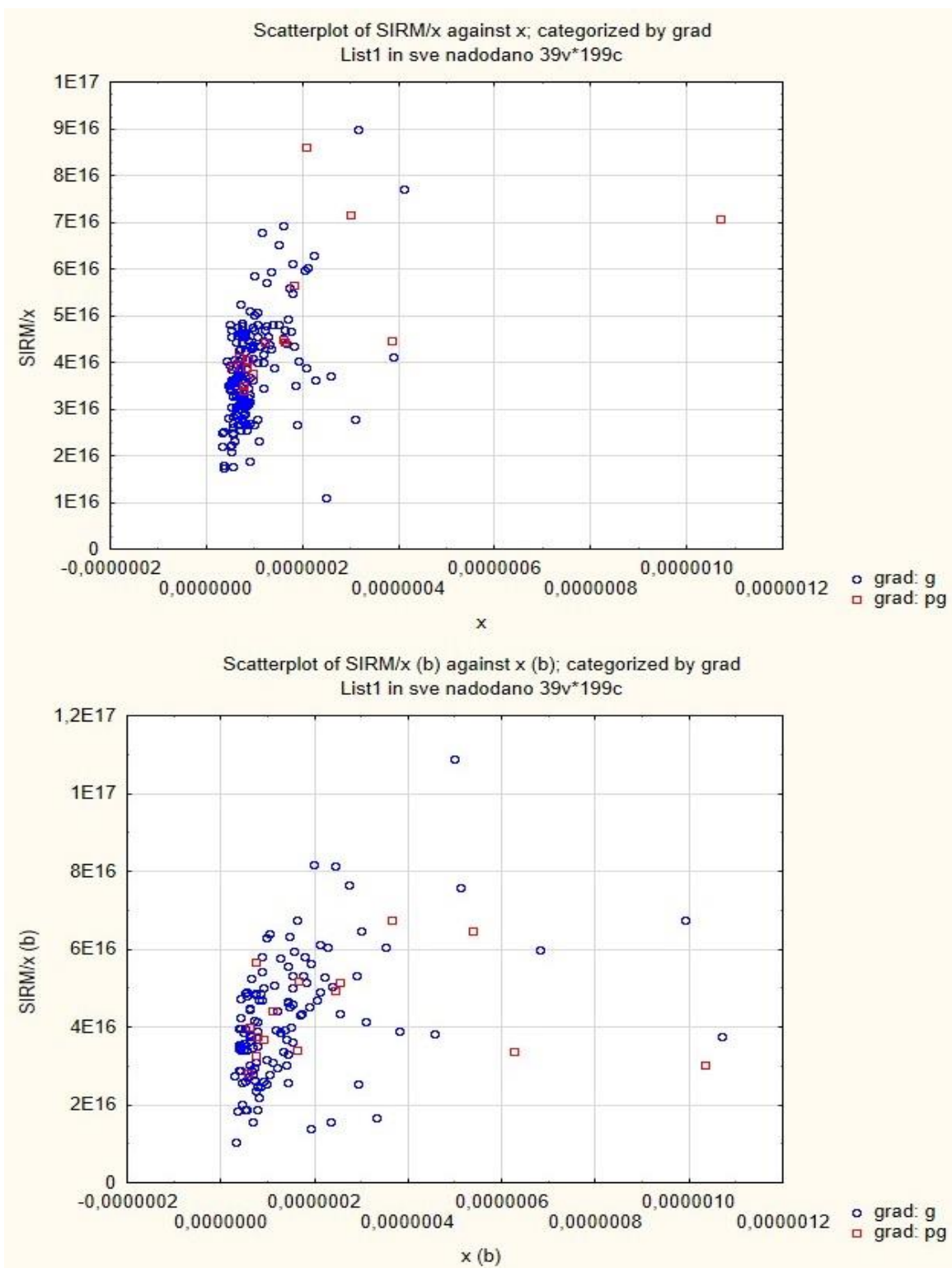


Slika 8.5. Usporedba ukupne koncentracije magnetskih minerala i udjela SD zrna u podjeli po gradu za a) površinski i b) dublji horizont

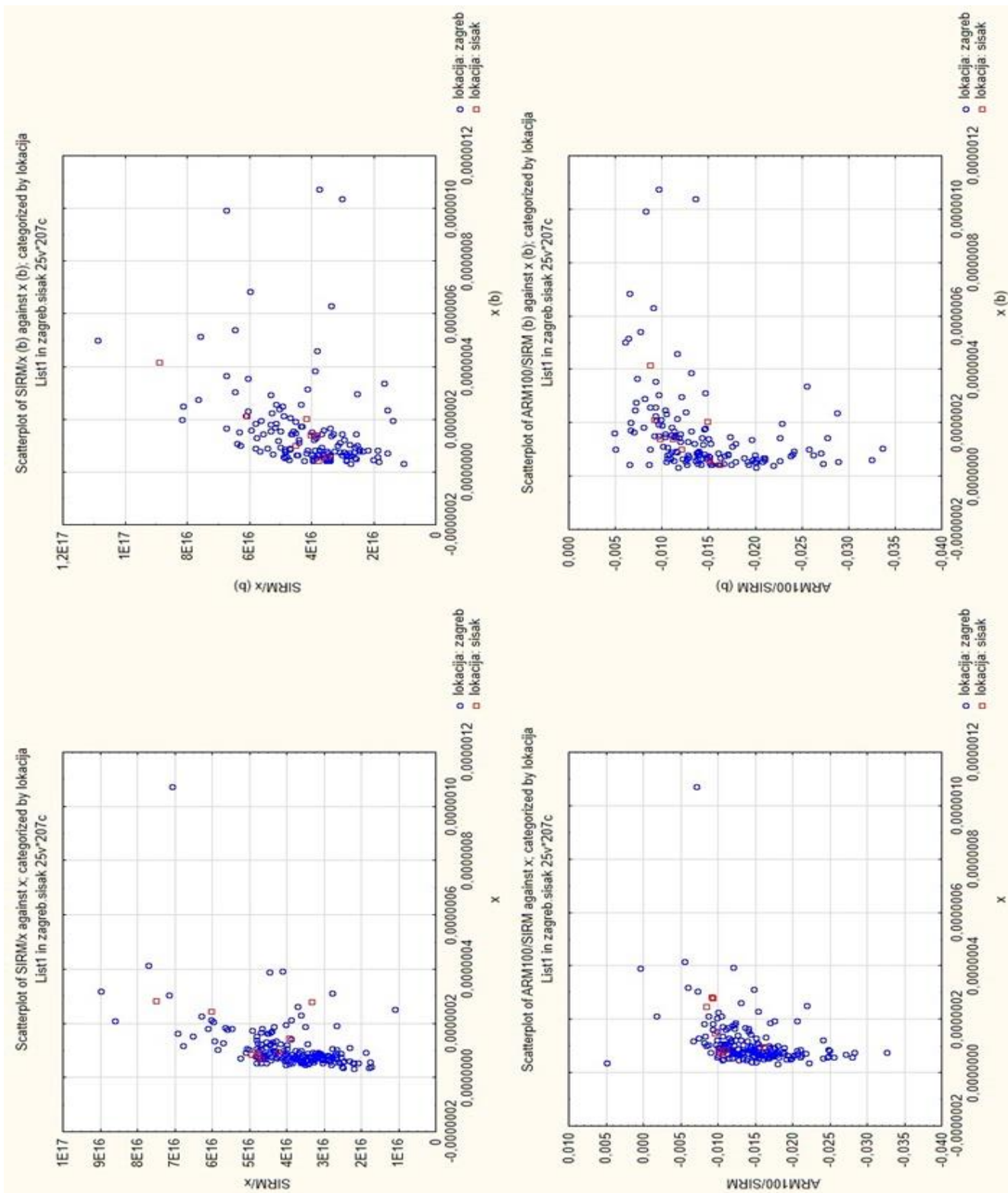
Prema grafovima prikazanim na Slici 8.5. potvrđuje se zaključak o većem antropogenom utjecaju u starom povijesnom gradu. Uzorci „spg“ pokazuju više vrijednosti ukupne koncentracije magnetskih minerala, ali i više koncentracije stabilnih SD minerala u oba horizonta. S druge strane, koncentracije MD minerala, pogotovo u dubljim uzorcima, kategorije „spg“ slične su koncentracijama u kategoriji „g“ (Slika 8.6.). S obzirom da su SD zrna generalno karakteristična za manje dimenzije zrna, može se zaključiti da u kategoriji „spg“ prevladavaju veće koncentracije sitnijih magnetskih minerala koji na svoje površine mogu adsorbirati veće količine teških metala. Taj zaključak podudara se s zaključcima dobivenim iz korelacijskih matrica, ali i sa mnogim istraživanjima Liu et al. (2010) u Kineskom moru, Maher (1999) u ruskim stepama i Razik et al. (2014) na SZ Afrike.

### 8.3. Usporedba magnetskih svojstva tala vrtića gradova Zagreba i Siska

Ne uzimajući u obzir veliku razliku u broju uzoraka dostupnih za obje lokacije, generalno se može zaključiti da su koncentracije magnetskih minerala u Sisku više nego u Zagrebu, pogotovo u uzorcima površinskog horizonta. Rezultati iz Siska pokazuju veće koncentracije posebno SD zrna, što se vidi po razlikama u SIRM parametru, ali i MD zrna, vidljivo po ARM parametru (Slika 8.7.). Iz svega toga, može se zaključiti da je puno dugotrajnija izloženost antropogenom utjecaju ostavila jači trag na površinskom horizontu u Sisku nego u Zagrebu. Generalno, uzorci tla vrtića Grada Siska pokazuju veće vrijednosti magnetskih parametara, ali i veće raspone vrijednosti od uzoraka tla Grada Zagreba, što je vjerojatno posljedica manjeg broja uzoraka na području Grada Siska, ali i njegove specifične industrije (prerada željeza).



Slika 8.6. Usporedba ukupne koncentracije magnetskih minerala i udjela MD zrna u podjeli po gradu za a) površinski i b) dublji horizont



Slika 8.7. Usporedba magnetskih parametara Zagreba i Siska

## 9. Zaključak

Okolišni magnetizam vrlo je korisna metoda potencijalnog biomonitoringa upravo zato što su magnetski parametri izuzetno dobri pokazatelji dugotrajnog zagađenja. Iako samo povišenje magnetskih vrijednosti nije indikativno za potencijalno opterećenje tla teškim metalima, mnoga ranija istraživanja i studije dovode u vezu magnetizam i geokemiju.

Glavni zaključci dobiveni u ovom radu su sljedeći:

- samo 5% uzoraka tla pokazuje vrijednosti IRM-a koji odgovaraju „tvrdoj“ izotermalnoj magnetizaciji, koja je karakterizirana antiferomagnetičnim mineralima. Sve te lokacije nalaze se na aluvijalnim nanosima prve i druge Savske terase. Dobivene magnetske vrijednosti ostalih 95% uzoraka tla posljedica su određene koncentracije feromagnetičnih minerala, kao što je na primjer magnetit.
- korelacijski koeficijent ( $r$ ) gotovo je uvijek negativan za ARM, te pozitivan za susceptibilitet, SIRM i omjer SIRM/x.
- u pravilu, dubinski horizont uzorkovanja pokazuje veće koncentracije magnetskih minerala i više korelacijske koeficijente magnetskih parametara sa elementima u odnosu na površinski horizont u svim geološkim jedinicama i kategorijama, tj. dolazi do nakupljanja veće koncentracije magnetskih minerala niz profil.
- magnetski parametri koji govore o koncentraciji elemenata (susceptibilitet, SIRM) pokazuju vezu sa molibdenom, uranom i natrijem u oba horizonta uzorkovanja. Magnetski parametar ARM, koji govori o udjelu SD magnetskih minerala, u površinskom horizontu povezan je s željezom i aluminijem, a u dubinskom horizontu sa kalcijem.
- u podjeli po geološkoj građi istraživanog područja, izdvajaju se holocenske jedinice (aluvijalne terase Save, proluvij i deluvij) po višim vrijednostima IRM-a, višim koncentracijama SD i MD minerala. Te jedinice predstavljaju regionalnu geološku signaturu, tj. nakupljanje svog materijala uzvodno od Zagreba.

- geološke jedinice neogena i pleistocena predstavljaju lokalnu geološku signaturu sa nešto nižim vrijednostima magnetskih parametara. Najniže mjerene vrijednosti i najniži korelacijski koeficijenti javljaju se u geološkoj jedinici barski les (lb) karakteriziranoj visokim udjelom karbonata.
- u podjeli prema geološkoj građi, u površinskom horizontu najveći korelacijski koeficijenti izračunati su između magnetskih parametara i Mo, U, Sb, Pb, Zn i Na, a u dubinskom horizontu između magnetskih parametara i Mo, Sb, Pb, Zn, Cu i Ag.
- u podjeli prema starosti grada, u kategoriji „stari povijesni grad“ dobivene su veće vrijednosti koncentracija magnetskih minerala, posebno sitnijih SD minerala i veći korelacijski koeficijenti u odnosu na kategoriju „grad“, što označava vremenski puno duži antropogeni utjecaj na tlo i veću mogućnost adsorpcije teških metala na vanjske površine magnetskih minerala.
- u podjeli prema starosti grada, magnetski parametri imaju izuzetno dobre korelacijske koeficijente s Mo, U i Na i u površinskim i u dubinskim horizontima, te dodatno izuzetno dobre korelacijske koeficijente magnetskih parametara s Cu, Sb, Hg, Ag i Zn u dubinskom horizontu.
- usporedba dobivenih vrijednosti magnetskih parametara za gradove Zagreb i Sisak pokazala je više koncentracije i veće raspone vrijednosti u tlima vrtića Grada Siska, kako u površinskom tako i u dubinskom horizontu. Ipak treba uzeti u obzir i puno manji set uzoraka za Sisak u odnosu na Zagreb.
- usporedbom rezultata studije Mike et al. (2010) i rezultata ovog diplomskog rada ustanovljena je veza između magnetometrijskih i geokemijskih analiza. Generalno gledajući, lokacije vrtića na kojima je utvrđeno potencijalno opterećenje metalima u tlu pokazuju i najviše mjerene vrijednosti magnetskih parametara, odnosno većim dijelom pripadaju holocenskim naslagama (aluvijalni nanosi Savskih terasa, proluvij i deluvij) koje imaju regionalnu geološku signaturu.

Rezultati i zaključci dobiveni u ovom diplomskom radu mogu poslužiti kao osnova za daljnja, detaljnija istraživanja veze između magnetskih i geokemijskim mjerenja u okviru okolišne magnetometrije, kao i postavljanje osnova za potencijalne metode biomonitoringa okoliša putem magnetometrijskih mjerenja.



## 10.Literatura

- AZO, (2007): Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj. Urednici: Kućar-Dragićević, S., Šućur, M., Agencija za okoliš, Zagreb, 307 str
- Banerjee, S. K. 1994: Contributions of fine-particle magnetism to reading the global paleoclimate record, *J. Applied Phys.* 75, 5925–5930
- Das, P.K., 2014: Magnetic Investigations of Urban Pollution at Mumbai and Nashik, Maharashtra, India: Mineral Magnetic Method as a Pollution Proxy, Indian Institute of Geomagnetism, New Panvel, Navi Mumbai
- Dearing, J. A., Dann, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maher, B. A. and O'Grady, K., 1996: Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials, *Geophys. J. Inter.* 124, 228–240
- Egli et Lowrie, 2002: Anhyseretic remanent magnetization of fine magnetic particles, Institute of Geophysics, ETH Ho"nggerberg, Zu" rich, Switzerland, *Journal of geophysical research*, vol. 107
- Flanders, P.J., 1994: Collection, measurement, and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment (invited). *J. Appl. Phy.*, v 75, p 5931–5936
- Fordyce, F. M., Brown, S. E., Ander, E. L., Rawlins, B. G., O'Donnell, K. E., Lister, T. R., Breward, N., i Johnson C.C., 2005: Urban geochemical mapping in Great Britain. *Geochem.: Exper. Environ. Anal.* 5, 325 – 336. Str
- Hanesch, M., Scholger, R., 2005: The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. *Geophys. J. Int.*, v 161, p 50–56
- Hanesch, M., Scholger, R., Rey, D., 2003: Mapping dust distribution around an industrial site by measuring magnetic parameters of tree leaves, *Atmospheric Environment* 37, 5125–5133
- Hay, K.L., Dearing, J.A., Baban, S.M.J., Loveland, P., 1997: A preliminary attempt to identify atmospherically-derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements. *Phy. Chem. Earth.*, v 22, p 207–210

- J. A. Dearing, K. L. Hay, S. M. J. Baban, A. S. Huddleston, E. M. H. Wellington and P. J. Loveland, 1996: Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set, *Geophys. J. Int.* 127,728-734
- Kabat-Pendias, A., Mukherjee, A.B., 2007: Trace elements from soil to human, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 550pp.
- Kampuš, I., Karaman, I., 1994: Tisućljetni Zagreb: od davnih naselja do suvremenog velegrada, Školska knjiga, Zagreb, VI. izdanje
- Lourenço, A. M., Sequeira, E., Sant'Ovaia, H., & Gomes, C. R., 2014: Magnetic, geochemical and pedological characterisation of soil profiles from different environments and geological backgrounds near Coimbra, Portugal. *Geoderma*, 213, 408–418
- Maher, B.A., and Thompson, R. (eds.), 1999: Quaternary Climates, Environments and Magnetism. Cambridge: Cambridge University Press
- Maher, B.A., Thompson, R., 1991: Mineral magnetic record of the Chinese loess and paleosols. *Geology* 19: 3–6
- Matzka, J., and Maher, B.A., 1999: Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: identification of spatial and temporal variations in vehicle-derived particulates. *Atmospheric Environment*, 33: 4565–4569
- Miko, S, Halamić, J. Peh, Z. Galović, L., 2001: Geochemical Baseline Mapping of Soils Developed on Diverse Bedrock from Two Regions in Croatia. *Geologia Croatica*. 54 1; 53-118
- Miko, S., Šparica Miko, M., Bukovec, D., Hasan, O., Mesić, S., Huškova, M., 2010: Pollution evaluation of child-care centers and playgrounds of Zagreb: geochemical mapping and GIS modelling
- N. Basavaiah, U. Blaha, P. K. Das, K. Deenadayalan, M. B. Sadashiv, H. Schulz, 2012: Evaluation of environmental magnetic pollution screening in soils of basaltic origin: results from Nashik Thermal Power Station, Maharashtra, India, *Environmental Science and Pollution Research*, v 19, p 3028-3038.
- Njegač, D., 2002: Veliki atlas Hrvatske: Središnja Hrvatska, 252 – 253 str. Mozaik knjiga, Zagreb

- Ottesen, R. T., 2008: Soil pollution in day-care centers and playgrounds in Norway: national action plan for mapping and remediation, *Environmental Geochemistry and Health* (in print)
- Piktija, 1987: Osnovna geološka karta 1:100 000, list Sisak, Savezni geološki zavod, Beograd
- Piktija, 1987: Tumač Osnovne geološke karte 1:100 000, list Sisak, Savezni geološki zavod, Beograd
- Sai Leug, 2002: Heavy metal content and magnetic properties of playground dust in Hong, *Environmental Monitoring and Assessment* 89: 221–232
- Sapkota, Birendra, 2012: Effects of metal pollutants on magnetic and chemical properties of soils and plant biomass: experimental studies in *Environmental Magnetism, Electronic Theses and Dissertations. Paper 5405*
- Scheyer, J.M., Hipple, K.W., 2005: *Urban Soil Primer*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska, 77 str
- Schmidt, A., R. Yarnold, M. Hill & M. Ashmore, 2005: Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: a site study. *Journal of Geochemical Exploration* 85(3): 109-117
- Strzyszcz, Z., 1993: Magnetic susceptibility of soils in the areas influenced by industrial emissions. In R. Schulín, A. Sesauls, R. Webster, B. V. Steiger (eds), *Soil Monitoring*. Birkhäuser Verlag, Basel, pp. 255–269
- Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A., 1972: Osnovna geološka karta 1:100 000, list Zagreb. Savezni geološki zavod, Beograd
- Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A., 1972: Tumač Osnovne geološke karte 1:100 000, list Zagreb. Savezni geološki zavod, Beograd
- Škorić, A., 1986: *Postanak, razvoj i sistematika tla*. Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 172 str
- Šorša, A., Halamić, J., 2014: *Geokemijski atlas Siska*, Hrvatski geološki institut, Zagreb
- Tauxe, L., 2010: *Essentials of paleomagnetism*, University of California Press

- Thompson, R. and Oldfield, F. 1986: Environmental Magnetism, Quaternary Research Association, Allen Unwin, London
- Thompson, R., Bloemendal, J., Dearing, J.A., Oldfield, F., Rummery, T.A., Stober, J.C., and Turner, G.M., 1980: Environmental applications of magnetic measurements. *Science*, 207: 481–486
- Van Oorschot, 1973: Chemical distinction between lithogenic and pedogenic iron oxides in environmental magnetism, *Geologica Ultraiectina*, no 208.
- Wright, D.A., Welbourn, P., 2002: Environmental Toxicology. Cambridge environmental chemistry series 11, University Press, Cambridge, 630 str

**Prilog 1. Popis vrtića sa koordinatama i nazivima vrtića**

	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Naziv vrtića</b>
ZAG 001	5578882,048	5072649,815	Milana Sachsa
ZAG 002	5579478,419	5072080,052	Milana Sachsa
ZAG 003	5582028,895	5072792,315	Zrno
ZAG 004	5582796,53	5070612,554	Zrno
ZAG 005	5580087,537	5073595,41	Duga
ZAG 006	5579963,354	5074149,338	Duga
ZAG 007	5579431,962	5074845,771	Duga
ZAG 008	5579490,306	5074074,762	Cvrčak
ZAG 009	5579976,328	5074279,433	Cvrčak
ZAG 010	5580039,738	5074701,308	Cvrčak
ZAG 011	5581636,684	5074291,786	Cvrčak
ZAG 012	5577085,705	5073197,371	Iskrica
ZAG 013	5576918,341	5072940,915	Iskrica
ZAG 014	5577743,024	5072537,42	Savica
ZAG 015	5577651,29	5072181,46	Savica
ZAG 016	5577901,176	5073324,052	Vladimira Nazora
ZAG 017	5578321,976	5072760,345	Vladimira Nazora
ZAG 018	5574828,232	5073103,055	Vrbik
ZAG 019	5575187,066	5072857,731	Vrbik
ZAG 020	5575681,396	5073036,758	Vrbik
ZAG 021	5575249,998	5072168,163	Potočnica
ZAG 022	5577022,635	5070685,837	Sopot
ZAG 023	5577123,643	5070479,154	Sopot
ZAG 024	5577991,635	5069535,559	Tratinčica
ZAG 025	5577893,135	5069411,543	Tratinčica
ZAG 026	5577516,873	5069134,423	Javna zelena površina Z1
ZAG 027	5577507,259	5069538,832	Tratinčica
ZAG 028	5577111,093	5069269,33	Tratinčica
ZAG 029	5577777,493	5069850,785	Travno
ZAG 030	5577847,699	5070215,527	Travno
ZAG 031	5578132,807	5070074,731	Travno
ZAG 032	5577950,298	5070741,404	Utrina
ZAG 033	5578165,408	5070430,807	Utrina

ZAG 034	5577757,514	5070562,354	Utrina
ZAG 035	5577985,918	5071217,635	Zaprude
ZAG 036	5577654,427	5071198,608	Zaprude
ZAG 037	5577215,784	5071225,036	Planirano D4
ZAG 038	5576956,884	5071398,661	Planirano D4
ZAG 039	5575786,759	5070486,936	Siget
ZAG 040	5576214,457	5070213,001	Siget
ZAG 041	5575325,271	5070485,312	Trnsko
ZAG 042	5575389,341	5069963,211	Trnsko
ZAG 043	5575310,688	5070232,595	Trnsko
ZAG 044	5573926,351	5069998,542	Remetinec
ZAG 045	5574726,339	5070555,901	Remetinec
ZAG 046	5573357,412	5068132,715	Botinec
ZAG 047	5577894,322	5065697,19	Botinec
ZAG 048	5569638,768	5067434,139	Hrvatski Leskovac
ZAG 049	5574861,326	5073628,881	Trešnjevka
ZAG 050	5574522,717	5073460,28	Trešnjevka
ZAG 051	5573851,861	5073467,416	Bajka
ZAG 052	5573282,423	5074233,652	Bajka
ZAG 053	5573233,966	5073268,855	Bajka
ZAG 054	5572449,85	5073799,093	Zvončić
ZAG 055	5572386,362	5073464,603	Zvončić
ZAG 056	5572628,9	5073145,37	Zvončić
ZAG 057	5571960,823	5074344,593	Kustošija
ZAG 058	5571812,978	5073038,023	Grigora Viteza
ZAG 059	5571892,704	5073035,822	Grigora Viteza
ZAG 060	5571868,03	5072418,122	Grigora Viteza
ZAG 061	5571983,963	5072472,827	Grigora Viteza
ZAG 062	5570634,099	5073129,973	Sunčana
ZAG 063	5569993,455	5073933,801	Sunčana
ZAG 064	5570157,612	5073218,754	Špansko
ZAG 065	5570716,742	5073645,392	Malešnica
ZAG 066	5570338,28	5074110,763	Malešnica
ZAG 067	5570487,569	5073558,592	Špansko
ZAG 068	5570181,919	5073855,83	Špansko
ZAG 069	5570438,3	5072614,773	Prečko

ZAG 070	5569964,206	5072406,256	Prečko
ZAG 071	5569961,144	5072715,179	Prečko
ZAG 072	5572277,579	5071469,922	Jarun
ZAG 073	5572701,356	5071638,037	Jarun
ZAG 074	5572823,656	5071961,151	Jarun
ZAG 075	5572982,938	5072047,241	Jarun
ZAG 076	5572635,788	5072223,473	Jarun
ZAG 077	5573889,719	5072384,734	Matije Gupca
ZAG 078	5574525,384	5071961,167	Matije Gupca
ZAG 079	5574348,734	5072607,1	Matije Gupca
ZAG 080	5571961,649	5073053,171	Matije Gupca
ZAG 081	5573739,389	5072153,114	Srednjaci
ZAG 082	5573416,016	5072460,451	Srednjaci
ZAG 083	5572689,815	5074649,901	Petar Pan
ZAG 084	5573671,775	5074968,579	Petar Pan
ZAG 085	5572113,448	5076834,524	Petar Pan
ZAG 086	5573174,389	5075505,842	Šumska jagoda
ZAG 087	5573504,689	5075321,443	Šumska jagoda
ZAG 088	5575021,443	5074958,645	Tatjane Marinić
ZAG 089	5574950,323	5074694,264	Krijesnice
ZAG 090	5575399,849	5074540,573	Izvor
ZAG 091	5575635,128	5075529,108	Tatjane Marinić
ZAG 092	5575907,712	5075056,177	Tatjane Marinić
ZAG 093	5572468,354	5078347,233	Šumska jagoda
ZAG 094	5576590,921	5074451,616	Različak
ZAG 095	5576610,762	5074586,931	Različak
ZAG 096	5576429,147	5075779,154	Različak
ZAG 097	5576734,944	5074639,016	Različak
ZAG 098	5576293,57	5075431,223	Različak
ZAG 099	5574728,139	5079149,755	Različak
ZAG 100	5576311,481	5077693,89	Vjeverica
ZAG 101	5575898,62	5079800,291	Vjeverica
ZAG 102	5576835,686	5076076,028	Vjeverica
ZAG 103	5576967,314	5075367,848	Vjeverica
ZAG 104	5577114,373	5075299,807	Medveščak
ZAG 105	5577338,47	5075118,563	Medveščak

ZAG 106	5577179,358	5074607,1	Medveščak
ZAG 107			Medveščak
ZAG 108	5576024,685	5074034,742	Budučnost
ZAG 109	5578264,648	5074847,99	Trnoružica
ZAG 110	5578160,29	5074835,89	Trnoružica
ZAG 111	5578021,488	5074675,474	Vedri dani
ZAG 112	5577613,321	5074398,22	Vedri dani
ZAG 113	5577959,882	5075509,72	Mali princ
ZAG 114	5578521,138	5075580,687	Mali princ
ZAG 115	5578031,902	5076810,265	Mali princ
ZAG 116	5578741,194	5077692,715	Bukovac
ZAG 117	5578154,41	5077675,574	Bukovac
ZAG 118	5579256,372	5081749,916	Markuševec
ZAG 119	5579942,588	5075333,868	Maksimir
ZAG 120	5580263,052	5075622,664	Maksimir
ZAG 121	5580184,109	5083615,527	Markuševec
ZAG 122	5577682,314	5080664,723	Markuševec
ZAG 123	5582503,035	5079038,098	Kolibri
ZAG 124	5581073,385	5080365,017	Kolibri
ZAG 125	5582722,897	5077418,265	Poletarac
ZAG 126	5582537,197	5077724,6	Poletarac
ZAG 127	5581948,881	5077348,133	Pčelica
ZAG 128	5581573,422	5076513,006	Pčelica
ZAG 129	5581109,47	5077144,41	Radost
ZAG 130	5583534,055	5076716,497	Sunce
ZAG 131	5584127,695	5076917,888	Sunce
ZAG 132	5583000,239	5076701,252	Medo Brundo
ZAG 133	5583086,851	5076627,412	Medo Brundo
ZAG 134	5582828,355	5074939,063	Jabuka
ZAG 135	5583283,756	5075431,942	Jabuka
ZAG 136	5583234,91	5076357,612	Jabuka
ZAG 137	5583157,156	5076452,968	Medo Brundo
ZAG 138	5581370,538	5075898,404	Ivane Brlić Mažuranić
ZAG 139	5587072,134	5076602,799	Leptir
ZAG 140	5587093,197	5076876,537	Leptir
ZAG 141	5586740,738	5076823,021	Šegrt Hlapić



ZAG 142	5586548,806	5076731,976	Sesvete
ZAG 143	5586544,302	5084441,412	Sesvete
ZAG 144	5585584,612	5076790,343	Sesvete
ZAG 145	5585215,071	5076758,101	Sesvete
ZAG 146	5588186,447	5076286,217	Šegrt Hlapić
ZAG 147	5585271,173	5075806,037	Leptir
ZAG 148	5584613,245	5079085,221	Planirano D4
ZAG 149	5585305,437	5077104,703	Javna zelena površina Z1
ZAG 150	5591304,396	5076073,873	Šegrt Hlapić
ZAG 151	5591332,523	5075809,363	Planirano D4
ZAG 152	5591234,508	5075320,714	Šegrt Hlapić
ZAG 153	5591401,371	5075240,731	Planirano D4
ZAG 154	5570433,217	5074829,689	Vrapče
ZAG 155	5570944,751	5074797,859	Vrapče
ZAG 156	5570728,374	5076774,417	Vrapče
ZAG 157	5568363,012	5074882,34	Gajnice
ZAG 158	5568288,473	5075112,595	Gajnice
ZAG 159	5568891,754	5075023,947	Vrapče
ZAG 160	5568595,528	5075291,995	Gajnice
ZAG 161	5567590,614	5075074,484	Planirano D4
ZAG 162	5565714,822	5075109,679	Gajnice
ZAG 163	5565769,653	5074469,751	Planirano D4
ZAG 164	5566699,76	5073250,465	Planirano D4
ZAG 165	5569085,589	5074083,857	Planirano D4
ZAG 166	5571484,631	5073712,082	Planirano D4
ZAG 167	5571475,315	5072583,045	Planirano D4
ZAG 168	5572248,917	5072541,032	Planirano D4
ZAG 169	5572835,581	5071241,028	Planirano D4
ZAG 170	5573384,765	5071804,327	Planirano D4
ZAG 171	5574232,233	5070555,706	Vrtić u izgradnji
ZAG 172	5568819,956	5076928,329	Planirano D4
ZAG 173	5569156,041	5076325,632	Javna zelena površina Z1
ZAG 174	5572492,976	5077125,058	Planirano D4
ZAG 175	5575354,566	5075453,564	Javna zelena površina Z1
ZAG 176	5575625,556	5076476,275	Javna zelena površina Z1
ZAG 177	5575589,53	5074970,956	Javna zelena površina Z1

ZAG 178	5575699,637	5075963,419	Javna zelena površina Z1
ZAG 179	5575944,788	5077333,304	Javna zelena površina Z1
ZAG 180	5574795,629	5075340,175	Javna zelena površina Z1
ZAG 181	5574903,07	5074923,184	Javna zelena površina Z1
ZAG 182	5578129,492	5072534,272	Mješovita namjena M
ZAG 183	5577906,038	5072383,702	Javne gradske površine Z4
ZAG 184	5577604,588	5073533,596	Mješovita namjena M2
ZAG 185	5577395,056	5074253,363	Javna zelena površina Z1
ZAG 186	5576559,496	5075219,387	Javna zelena površina Z1
ZAG 187	5578333,23	5070335,787	Javna zelena površina Z1
ZAG 188	5578151,342	5070761,594	Mješovita namjena M
ZAG 189	5577213,589	5071479,126	Javne gradske površine Z4
ZAG 190	5575584,342	5070558,095	Javna zelena površina Z1
ZAG 191	5575347,25	5070679,22	Mješovita namjena M
ZAG 192	5577074,867	5069159,121	Javna zelena površina Z1
ZAG 193	5577348,473	5069282,8	Mješovita namjena M
ZAG 194	5578559,876	5069530,052	Javna zelena površina Z1
ZAG 195	5574537,666	5074436,806	Javna zelena površina Z1
ZAG 196	5573834,564	5075052,6	Javna zelena površina Z1
ZAG 197	5573062,955	5075123,676	Mješovita namjena M2
ZAG 198	5575729,283	5074220,292	Javna zelena površina Z1
ZAG 199	5578644,797	5071957,477	Mješovita namjena M1
ZAG 200	5578573,979	5072512,724	Mješovita namjena M1
ZAG PL1	5578889,738	5072000,956	Planirano D4
SI1			Potočnica
SI2			Različak
SI3			Pčelica
SI4			Bubamara
SI5			Ciciban
SI6			Tratinčica
SI7			Sunce
SI8			Maslačak + Radost

## Prilog 2. Rezultati magnetometrijskim mjerenja tla vrtića Grada Zagreba

oznaka	mass specific ARM100(mT)		susceptibilitet MFK1-FA		SIRM (IRM700mT)		SIRM/x	
	( pAm <sup>2</sup> )/kg		x (m <sup>3</sup> /kg)		( pAm <sup>2</sup> )/kg		pA/m	
	p	d	p	d	p	d	p	d
ZAG 001	1,01E+08	-73610494,65	0,0000001493	0,0000001425	7,169E+09	6570005425	4,8024E+16	4,61007E+16
ZAG 002	43228309	-30633467,64	0,0000000901	0,0000000501	3,906E+09	2441223644	4,33638E+16	4,87699E+16
ZAG 003	44898626	-49577135,25	0,0000000854	0,0000000563	2,674E+09	1528388654	3,1314E+16	2,713E+16
ZAG 004	51974632	-30539863,02	0,0000001144	0,0000000552	7,768E+09	2712973859	6,78958E+16	4,91641E+16
ZAG 005	99666575	-187510737,8	0,0000001768	0,0000003103	8,231E+09	1,2841E+10	4,65679E+16	4,13898E+16
ZAG 006	84530818	-66921137,87	0,0000002081	0,0000001540	8,1E+09	5580625359	3,89245E+16	3,62338E+16
ZAG 007	50536104	-84078840,67	0,0000000994	0,0000001800	5,81E+09	1,0444E+10	5,84757E+16	5,8036E+16
ZAG 008	36576726	-109247459,4	0,0000000785	0,0000002225	2,579E+09	1,1787E+10	3,2867E+16	5,29666E+16
ZAG 009	60529993	-96241886,12	0,0000001333	0,0000002545	5,71E+09	1,1063E+10	4,28441E+16	4,34732E+16
ZAG 010	66297099	-104334903,5	0,0000001277	0,0000001915	5,804E+09	1,0804E+10	4,54542E+16	5,64176E+16
ZAG 011	68701428	-75904645,64	0,0000001173	0,0000001424	5,246E+09	6624447659	4,47366E+16	4,65248E+16
ZAG 012	90480709	-84293416,11	0,0000001782	0,0000001875	9,744E+09	8494098236	5,46774E+16	4,53091E+16
ZAG 013	1,15E+08	-548140929,8	0,0000001732	0,0000009903	9,677E+09	6,6879E+10	5,58803E+16	6,75328E+16
ZAG 014	37091267	-186424543,5	0,0000000635	0,0000003001	2,913E+09	1,9398E+10	4,5864E+16	6,4631E+16
ZAG 015	1,09E+08	-45287974,61	0,0000000723	0,0000001571	3,339E+09	9352417780	4,61536E+16	5,95448E+16
ZAG 016		-149471881,1		0,0000002722		2,0847E+10		7,65851E+16
ZAG 017	56293267	-79647466,86	0,0000001118	0,0000001361	4,868E+09	5330245994	4,35271E+16	3,91764E+16
ZAG 018	42720753	-203370808,6	0,0000000705	0,0000004570	2,717E+09	1,7517E+10	3,8532E+16	3,83326E+16

ZAG 019	- 1,09E+08	-126000564,1	0,0000002090	0,0000002098	1,262E+10	1,2837E+10	6,03785E+16	6,1178E+16
ZAG 020	- 52757755	-51856680,09	0,0000000794	0,0000001411	3,675E+09	3648834109	4,62643E+16	2,5852E+16
ZAG 021	- 39773558	-89191799,24	0,0000000669	0,0000001520	2,853E+09	8080050113	4,26428E+16	5,31447E+16
ZAG 022	- 59367037	-63543034,92	0,0000000950	0,0000000918	4,155E+09	4586368375	4,37327E+16	4,99396E+16
ZAG 023	- 93218203	-79617116,01	0,0000001298	0,0000001185	5,687E+09	5234251640	4,38187E+16	4,41689E+16
ZAG 024	- 31969313	-40274457,08	0,0000000486	0,0000000513	1,672E+09	2025279987	3,44131E+16	3,951E+16
ZAG 025	- 41924631		0,0000000623		2,469E+09		3,96404E+16	
ZAG 026	- 30788842	-43739896,41	0,0000000606	0,0000000694	1,984E+09	2894097852	3,27487E+16	4,1698E+16
ZAG 027	- 32814691	-32120939,01	0,0000000508	0,0000000470	1,959E+09	1602513187	3,8569E+16	3,40863E+16
ZAG 028	- 23632553	-23601050,63	0,0000000536	0,0000000382	1,528E+09	1356140621	2,8483E+16	3,54676E+16
ZAG 029	- 33124183	-23026141,98	0,0000000679	0,0000000404	2,515E+09	1414928489	3,70382E+16	3,49849E+16
ZAG 030	- 40102024	-28101106,07	0,0000000702	0,0000000707	2,271E+09	1873588586	3,23531E+16	2,65161E+16
ZAG 031	- 39319050	-56388726,18	0,0000000668	0,0000000841	2,241E+09	2087384201	3,35464E+16	2,48069E+16
ZAG 032	- 38222950	-105522958,9	0,0000000662	0,0000002330	2,512E+09	3673114873	3,7966E+16	1,57651E+16
ZAG 033	- 52930892	-46928617,9	0,0000000995	0,0000000785	4,67E+09	3250654768	4,69512E+16	4,14299E+16
ZAG 034	- 41486620	-36453179,74	0,0000000650	0,0000000496	2,436E+09	1907909792	3,74515E+16	3,84824E+16
ZAG 035	- 29058253	-32846122,35	0,0000000670	0,0000000610	2,057E+09	2325939598	3,06852E+16	3,81352E+16
ZAG 036	- 58393873	-27788845,61	0,0000000898	0,0000000414	3,318E+09	1959765957	3,69607E+16	4,72958E+16
ZAG 037	- 42503105	-55103678,89	0,0000000732	0,0000000863	3,509E+09	5008627721	4,79679E+16	5,80144E+16
ZAG 038	- 39015403	-49638789,61	0,0000000654	0,0000000745	3,115E+09	3610453815	4,76054E+16	4,84435E+16
ZAG 039		-87302757,22						

ZAG 040	-	37484893	-35719706,22	0,0000000616	0,0000000547	2,157E+09	2633346751	3,49932E+16	4,81585E+16
ZAG 041	-	42726075	-86125833,48	0,0000000729	0,0000001519	2,671E+09	7601233610	3,66493E+16	5,0038E+16
ZAG 042	-	48481876	-38882977,67	0,0000000797	0,0000000634	3,384E+09	2389087521	4,24619E+16	3,76843E+16
ZAG 043	-	43868891	-326343454,7	0,0000000871	0,0000004976	3,895E+09	5,4177E+10	4,47041E+16	1,08881E+17
ZAG 044	-	47173310	-46523545,93	0,0000000697	0,0000000774	2,166E+09	2731788243	3,10687E+16	3,5285E+16
ZAG 045	-	48302257	-149869064,2	0,0000000895	0,0000002371	4,574E+09	1,1984E+10	5,10958E+16	5,05348E+16
ZAG 046	-	39139254	-55455265,87	0,0000000772	0,0000000833	2,353E+09	4063540917	3,0469E+16	4,87767E+16
ZAG 047	-	45019277	-141895325,6	0,0000000759	0,0000003324	2,534E+09	5557678412	3,3372E+16	1,67175E+16
ZAG 048	-	53782414	-61957523,27	0,0000000846	0,0000001928	2,166E+09	2716087979	2,5596E+16	1,40904E+16
ZAG 049	-	-1,1E+08	-117584080,4	0,0000001841	0,0000001409	6,45E+09	4244781300	3,50312E+16	3,01288E+16
ZAG 050	-	82010582	-48201148,98	0,0000000957	0,0000001687	4,546E+09	7282072446	4,7518E+16	4,31686E+16
ZAG 051	-	64585803	-119450327,6	0,0000001330	0,0000002116	7,889E+09	1,0352E+10	5,92976E+16	4,89225E+16
ZAG 052	-	88475278	-194298390,3	0,0000001707	0,0000003820	8,41E+09	1,4834E+10	4,92741E+16	3,88272E+16
ZAG 053	-	1,68E+08	-88667158,75	0,0000003145	0,0000001467	2,822E+10	9264116624	8,97437E+16	6,31512E+16
ZAG 054	-	37727914	-70528682,79	0,0000000824	0,0000001050	3,179E+09	6717397009	3,85749E+16	6,39655E+16
ZAG 055	-		-87534622,39		0,0000001265		7322841898		5,78853E+16
ZAG 056	-	45393201	-54238768,81	0,0000000757	0,0000000737	2,42E+09	2286698611	3,19739E+16	3,10358E+16
ZAG 057	-	64110382	-124781304,3	0,0000001046	0,0000002884	4,175E+09	1,5338E+10	3,99289E+16	5,31848E+16
ZAG 058	-	30511845	-261979161,5	0,0000000778	0,0000006806	2,113E+09	4,066E+10	2,71547E+16	5,97393E+16
ZAG 059	-	1,57E+08	-144875169,6	0,0000001899	0,0000002283	7,659E+09	1,3841E+10	4,03234E+16	6,06303E+16
ZAG 060	-	29811907	-25245355,1	0,0000000469	0,0000000383	1,849E+09	1312834743	3,94022E+16	3,428E+16
ZAG 061	-		-52797838,29	0,0000000624	0,0000000791	2,135E+09	3094269217	3,41984E+16	3,91134E+16

	43048637							
ZAG 062	69631578	-117832920	0,0000000963	0,0000001409	4,16E+09	5207495114	4,3213E+16	3,69682E+16
ZAG 063	37086872	-48491396,85	0,0000000521	0,0000001175	1,297E+09	5985270331	2,49201E+16	5,0941E+16
ZAG 064	46248906	-95467080,83	0,0000000830	0,0000001023	2,204E+09	2838591705	2,65534E+16	2,77547E+16
ZAG 065	42298528	-61353070,91	0,0000000726	0,0000000818	3,194E+09	3836969517	4,40182E+16	4,69017E+16
ZAG 066	29745999	-54448447,71	0,0000000717	0,0000000866	3,322E+09	4702560191	4,6328E+16	5,4271E+16
ZAG 067	58331773	-83257175,96	0,0000000731	0,0000001183	2,059E+09	4665014802	2,81789E+16	3,94414E+16
ZAG 068	52475421	-40390058,94	0,0000000694	0,0000000563	2,526E+09	1923464217	3,63802E+16	3,41732E+16
ZAG 069	33817995	-24441608,17	0,0000000866	0,0000000422	2,691E+09	1474286697	3,10925E+16	3,49055E+16
ZAG 070	42370715	-46949336,59	0,0000000589	0,0000000752	2,118E+09	3671035083	3,59302E+16	4,88233E+16
ZAG 071	46642553	-66689147,64	0,0000000855	0,0000000631	2,782E+09	3315910579	3,2526E+16	5,25617E+16
ZAG 072	33793049	-32668406,9	0,0000000565	0,0000000603	2,068E+09	2677400294	3,66284E+16	4,4436E+16
ZAG 073	23237294	-20912824,72	0,0000000489	0,0000000404	1,734E+09	1379684052	3,54674E+16	3,41347E+16
ZAG 074	28792429	-23313358,58	0,0000000518	0,0000000384	1,883E+09	1519076654	3,63561E+16	3,95438E+16
ZAG 075	1,26E+08	-68513953,26	0,0000002257	0,0000001112	8,196E+09		3,63154E+16	
ZAG 076	58208329	-54113704,83	0,0000001042	0,0000000966	5,285E+09		5,07238E+16	
ZAG 077	72019462	-37952691,89	0,0000001087	0,0000000506	4,734E+09	1316740094	4,35354E+16	2,60032E+16
ZAG 078		-102980016,2		0,0000001813		9332769023		5,14803E+16
ZAG 079	40337948	-93423566,36	0,0000000743	0,0000001420	3,033E+09	7884272901	4,08115E+16	5,55067E+16
ZAG 080	64821065	-136646677,1	0,0000001169	0,0000001766	4,665E+09	9370902818	3,99195E+16	5,30735E+16
ZAG 081	38561472	-35423003,51	0,0000000781	0,0000000502	3,607E+09	1987080213	4,618E+16	3,95956E+16
ZAG 082		-115073219,5	0,0000000767	0,0000001710				

	40916170							
ZAG 083	66147320	-55806853,44	0,0000001204	0,0000000864	5,658E+09	4062765363	4,70062E+16	4,69974E+16
ZAG 084	79514082	-385568957,7	0,0000001595	0,0000010700	7,218E+09	4,0176E+10	4,52485E+16	3,75483E+16
ZAG 085	98567154	-83252486,25	0,0000001193	0,0000001139	4,101E+09	5772319473	3,43656E+16	5,06764E+16
ZAG 086	34033905	-58888571,72	0,0000000827	0,0000001086	2,549E+09	3356858576	3,08175E+16	3,09225E+16
ZAG 087	30692155	-6324320,381	0,0000000634	0,0000000303	1,956E+09	315702035	3,08605E+16	1,04243E+16
ZAG 088	89168675	-41365240,76	0,0000001895	0,0000001663	5,066E+09		2,67379E+16	
ZAG 089	52573275	-123825477	0,0000000971	0,0000002447	3,652E+09	1,2049E+10	3,76258E+16	4,9235E+16
ZAG 090	87669589	-44916784,95	0,0000001607	0,0000000753	7,224E+09	4261554550	4,49647E+16	5,66089E+16
ZAG 091	35277091	-88855233,27	0,0000000963	0,0000002926	4,189E+09	7393042362	4,35001E+16	2,52681E+16
ZAG 092	20898582	-73524048,59	0,0000000538	0,0000001637	2,108E+09	5600877899	3,91527E+16	3,42221E+16
ZAG 093	29063919	-62381020,68	0,0000000712	0,0000001258	1,823E+09	4876196313	2,55993E+16	3,87529E+16
ZAG 094	52490277	-34031622,13	0,0000001203	0,0000000613	5,334E+09	2462131772	4,434E+16	4,01759E+16
ZAG 095	29999643	-177870174,1	0,0000002065	0,0000003635	1,777E+10	2,4487E+10	8,6046E+16	6,73605E+16
ZAG 096	6445775,3	-425250180,5	0,0000003871	0,0000010337	1,73E+10	3,1382E+10	4,47023E+16	3,03591E+16
ZAG 097	82726759	-192601253,7	0,0000001642	0,0000006264	7,289E+09	2,1176E+10	4,4394E+16	3,38068E+16
ZAG 098								
ZAG 099	20402420	-27663703,89	0,0000001080	0,0000000675	2,517E+09	1879346303	2,33094E+16	2,78405E+16
ZAG 100	39385403	-248772019,9	0,0000000835	0,0000005123	3,398E+09	3,8778E+10	4,07092E+16	7,56879E+16
ZAG 101	29237797	-73059925,01	0,0000000802	0,0000001534	2,872E+09	7057212822	3,58071E+16	4,60098E+16
ZAG 102	47768394	-48755739,82	0,0000000837	0,0000001097	3,256E+09	4850692010	3,89222E+16	4,42172E+16
ZAG 103	33258018	-17212802,03	0,0000000819	0,0000000429	3,184E+09	1243576260	3,88639E+16	2,90088E+16

ZAG 104	-	39254343	-32101542,63	0,0000000757	0,0000000579	2,565E+09	1625774093	3,3891E+16	2,80549E+16
ZAG 105	-	-1,2E+08	-90004512,49	0,0000002027	0,0000002045	1,209E+10	9593792297	5,96498E+16	4,6923E+16
ZAG 106	-	83419077	-266051798,4	0,0000001814	0,0000005368	1,023E+10	3,4701E+10	5,64104E+16	6,46469E+16
ZAG 107	-	1,27E+08	-197507649,4	0,0000003089	0,0000003516	8,607E+09	2,1321E+10	2,7867E+16	6,06457E+16
ZAG 108	-	5,39E+08	-122128106,1	0,0000010681	0,0000002544	7,57E+10	1,313E+10	7,0874E+16	5,16186E+16
ZAG 109	-	1,56E+08	-38752552,27	0,0000003006	0,0000000914	2,149E+10	3367062107	7,14987E+16	3,68284E+16
ZAG 110	-		-97380779,15		0,0000001667		8662030853		5,19545E+16
ZAG 111	-	39664526	-41033985,28	0,0000000757	0,0000000779	2,647E+09	2918755476	3,49584E+16	3,74686E+16
ZAG 112	-	65907583	-145974257,7	0,0000001476	0,0000002901				
ZAG 113	-	49761105	-140874967,1	0,0000001054	0,0000002450	4,785E+09	1,9952E+10	4,54191E+16	8,14314E+16
ZAG 114	-	51184027	-48597734,87	0,0000000851	0,0000000743	3,45E+09	2435199218	4,05507E+16	3,27751E+16
ZAG 115	-	28010957	-18483306,45	0,0000000885	0,0000000495	2,799E+09	1771786372	3,16133E+16	3,57927E+16
ZAG 116	-	30251575	-19002827,63	0,0000000513	0,0000000808	1,829E+09	1757971544	3,56482E+16	2,17684E+16
ZAG 117	-	39303019	-48025592,78	0,0000000949	0,0000001205	3,447E+09	3562705243	3,63342E+16	2,9559E+16
ZAG 118	-	-9255275	-15127173,61	0,0000000355	0,0000000963	615155509	3040940486	1,73413E+16	3,15857E+16
ZAG 119	-	48979954	-26651613,54	0,0000001006	0,0000000775	5,044E+09	1908461615	5,01409E+16	2,46175E+16
ZAG 120	-		-54728417,2		0,0000001489		5976475472		4,01433E+16
ZAG 121	-	52873876	-34816734	0,0000001259	0,0000000705	7,176E+09	2089169488	5,70163E+16	2,96454E+16
ZAG 122	-	1,92E+08	-35114373	0,0000003895	0,0000000785	1,605E+10	1462016827	4,12209E+16	1,86317E+16
ZAG 123	-	32408559	-44556190,73	0,0000000630	0,0000000704	1,679E+09		2,66659E+16	
ZAG 124	-	25681245	-44228983,47	0,0000000544	0,0000000644	1,415E+09	2352556286	2,60198E+16	3,65395E+16
ZAG 125	-	99538040	-88940055,68	0,0000001667	0,0000001346	7,346E+09	4539366910	4,40771E+16	3,37239E+16
ZAG 126	-		-108378155,5	0,0000000452	0,0000001712	1,269E+09	7463420164	2,81025E+16	4,3603E+16



	13477105							
ZAG 127	24664008	-106753691,9	0,0000000659	0,0000001972	1,994E+09	1,6108E+10	3,02443E+16	8,16818E+16
ZAG 128	35247339	-67718068,79	0,0000000632	0,0000001454	2,188E+09	6552321530	3,45952E+16	4,50736E+16
ZAG 129	25379429		0,0000000651	0,0000000600	2,243E+09		3,44449E+16	
ZAG 130	54264021	-53558329,58	0,0000001047	0,0000000980	5,053E+09	6163696030	4,82446E+16	6,29105E+16
ZAG 131	35004362	-14050123,4	0,0000000717	0,0000000350	3,297E+09	640691830	4,60098E+16	1,8303E+16
ZAG 132	44696990	-64474698,18	0,0000000811	0,0000000985	2,171E+09	2500082331	2,67549E+16	2,53914E+16
ZAG 133	78208627	-56163637,42	0,0000001403	0,0000000890	5,442E+09	2333434920	3,87839E+16	2,62156E+16
ZAG 134	28618568	-33016459,13	0,0000000600	0,0000000612	1,729E+09	2235829045	2,88202E+16	3,65441E+16
ZAG 135	27509269	-22861543,09	0,0000000611	0,0000000599	1,866E+09	1809448448	3,0562E+16	3,01862E+16
ZAG 136	42441201	-39638658,69	0,0000000864	0,0000000659	2,985E+09	1893684025	3,45658E+16	2,87171E+16
ZAG 137	34466397		0,0000000718		1,917E+09		2,67072E+16	
ZAG 138	21842859	-80742264,77	0,0000000512	0,0000002022	1,565E+09		3,05607E+16	
ZAG 139	13381937	-14724062,98	0,0000000367	0,0000000422	927711872		2,52579E+16	
ZAG 140	26654939	-14834752,54	0,0000000512	0,0000000405	2,325E+09	1719356628	4,54497E+16	4,24098E+16
ZAG 141	27285241	-18112168,24	0,0000000615	0,0000000465	2,72E+09	1203019685	4,42617E+16	2,58761E+16
ZAG 142	20126338	-45876611,85	0,0000000447	0,0000001123	1,576E+09		3,52242E+16	
ZAG 143	23675045	-24752770,67	0,0000000429	0,0000000448	1,726E+09	907108663	4,02226E+16	2,02525E+16
ZAG 144	31724795	-76583861,04	0,0000001046	0,0000001626	2,913E+09	1,0953E+10	2,78477E+16	6,73566E+16
ZAG 145	13653738	-20795696,88	0,0000000343	0,0000000413	617755845	1644164200	1,80133E+16	3,97931E+16
ZAG 146	28899718	-29268034,55	0,0000000516	0,0000000614	2,419E+09	2760579963	4,68973E+16	4,49494E+16

ZAG 147	- 26888408	-46867915,6	0,0000000501	0,0000000751	1,115E+09	1785514808	2,22537E+16	2,37795E+16
ZAG 148	- 27508908	-13911525,6	0,0000000906	0,0000000693	1,696E+09	1081144336	1,87263E+16	1,55942E+16
ZAG 149	- 22995803	-24996853,16	0,0000000566	0,0000000602	1,32E+09	2288681308	2,33255E+16	3,80306E+16
ZAG 150	- 12246800	-9286236,313	0,0000000310	0,0000000287	682133299	790321471	2,20148E+16	2,7575E+16
ZAG 151	4175012,3		0,0000000340		845260626		2,48893E+16	
ZAG 152	- 21026703	-9248932,248	0,0000000539	0,0000000403		1435938146		3,56185E+16
ZAG 153	- 35402667	-18003966,2	0,0000000999	0,0000000389	2,661E+09	1124031136	2,66385E+16	2,89238E+16
ZAG 154	- 45815727	-81371608,97	0,0000000900	0,0000001429	2,429E+09	4707160049	2,69957E+16	3,29491E+16
ZAG 155	- 40963163	-22810581,24	0,0000000758	0,0000000534	2,185E+09	1007522758	2,88436E+16	1,88595E+16
ZAG 156	- 18123028	-20321579,45	0,0000000521	0,0000000524	1,092E+09	981125397	2,09814E+16	1,87338E+16
ZAG 157	- 53707678	-48540177,48	0,0000000807	0,0000000668	3,674E+09	2330837797	4,55272E+16	3,48924E+16
ZAG 158	- 61648813		0,0000001195		5,006E+09		4,18857E+16	
ZAG 159	- 34126891		0,0000000562		1,378E+09		2,45209E+16	
ZAG 160	- 35071577		0,0000000586		2,377E+09		4,0535E+16	
ZAG 161	- 57057592		0,0000000791		2,293E+09		2,89861E+16	
ZAG 162	- 50804556		0,0000000901		2,989E+09		3,31681E+16	
ZAG 163	- 42400347		0,0000000608		2,007E+09		3,29885E+16	
ZAG 164	- 59736253		0,0000001055					
ZAG 165	- 49980343		0,0000000701		2,657E+09		3,7931E+16	
ZAG 166	- 61955098		0,0000000938		4,015E+09		4,28122E+16	
ZAG 167	- 25013025		0,0000000488		2,348E+09		4,81057E+16	

ZAG 168	- 82563087		0,0000001364		6,548E+09		4,80094E+16	
ZAG 169	- 38119482		0,0000000557		1,818E+09		3,26238E+16	
ZAG 170	- 60703103		0,0000000875					
ZAG 171	- 97141888		0,0000001505		9,813E+09		6,51813E+16	
ZAG 172	- 25030304		0,0000000552		981713437		1,7777E+16	
ZAG 173	- 41502286		0,0000000554		1,486E+09		2,68307E+16	
ZAG 174	- 21741358		0,0000000497		1,096E+09		2,205E+16	
ZAG 175	- 1,02E+08		0,0000001597		1,107E+10		6,93644E+16	
ZAG 176	- -1,4E+08		0,0000002230		1,405E+10		6,30003E+16	
ZAG 177	- 48411145		0,0000000968		3,961E+09		4,09272E+16	
ZAG 178	- 40623568		0,0000000692		3,626E+09		5,2389E+16	
ZAG 179	- 22696618		0,0000000640		1,84E+09		2,87522E+16	
ZAG 180	- 1,01E+08		0,0000001785		1,093E+10		6,12482E+16	
ZAG 181	- 59733550		0,0000002475		2,725E+09		1,10112E+16	
ZAG 182	- 89994280		0,0000001256		5,998E+09		4,77589E+16	
ZAG 183	- 43643732		0,0000000662		2,66E+09		4,01579E+16	
ZAG 184	- 1,27E+08		0,0000002061					
ZAG 185	- 34354390		0,0000000766					
ZAG 186	- 97602839		0,0000001831		7,972E+09		4,35475E+16	
ZAG 187	- 38497537		0,0000000669		2,552E+09		3,81301E+16	
ZAG 188	- 43381429		0,0000000742		3,598E+09		4,84913E+16	

ZAG 189	- 45504438		0,0000000712		2,658E+09		3,73248E+16	
ZAG 190	- 51919527		0,0000000709		3,039E+09		4,28498E+16	
ZAG 191	- 31095215		0,0000000618		1,791E+09		2,89832E+16	
ZAG 192	- 31485948		0,0000000469		1,603E+09		3,41385E+16	
ZAG 193	- 33410905		0,0000000545		1,354E+09		2,48402E+16	
ZAG 194	- 57830928		0,0000000661		2,139E+09		3,23707E+16	
ZAG 195	- 1,28E+08		0,0000002765					
ZAG 196	- 1,24E+08		0,0000002572		9,526E+09		3,70394E+16	
ZAG 197	- 1,77E+08		0,0000004119		3,173E+10		7,70362E+16	
ZAG 198	- 34231963		0,0000000684		2,825E+09		4,13129E+16	
ZAG 199	- 39015088		0,0000000666		2,177E+09		3,26838E+16	
ZAG 200	- 1,09E+08		0,0000001635		7,7E+09		4,71039E+16	
ZAG PL1	- 7,85E+07	-8,25E+07	0,0000002286	0,0000001323	8,343E+09	6323490386	3,65059E+16	4,77951E+16

### Prilog 3. Rezultati magnetometrijskim mjerenja tla vrtića Grada Siska

oznaka	mass specific ARM100(mT)		susceptibilitet MFK1-FA		SIRM (IRM700mT)		SIRM/x	
	( pAm <sup>2</sup> )/kg		x (m3/kg)		( pAm <sup>2</sup> )/kg		pA/m	
	p	d	p	d	p	d	p	d
SI1	-44184312	-24493183,4	8,4461E-08	4E-08	4039699329	1524123814	4,7829E+16	3,81E+16
SI2	-32916505	-28945410,69	6,5689E-08	5,46E-08	3092270147	1915164863	4,7074E+16	3,51E+16
SI3	-62952109	-123787335,7	9,3275E-08	2E-07	3910261217	8334504200	4,1922E+16	4,16E+16
SI4	-1,22E+08	-317967919,4	2,4268E-07	4,12E-07	1,4636E+10	36710521148	6,0307E+16	8,91E+16
SI5	-1,93E+08	-117934063,5	2,802E-07	2,1E-07	2,105E+10	12801899093	7,5127E+16	6,09E+16
SI6	-40060050	-52683587,45	8,1159E-08	9,68E-08	4012489786	4380957318	4,944E+16	4,53E+16
SI7	-53600892	-61601978,59	1,4212E-07	1,38E-07	5600324714	5563479808	3,9407E+16	4,03E+16
SI8	-84448518	-51648114,76	2,747E-07	1,38E-07	9163461099	5318648585	3,3358E+16	3,84E+16

#### LEGENDA

p → površinski uzorci

d → dubinski uzorci

ARM100 → anhisterezijska remanentna magnetizacije mjerena na jačini polja od 100mT

x → magnetski susceptibilitet

SIRM → saturacijska izotermalna remanentna magnetizacija mjerena na jačini polja od 700mT

**Prilog 4. Lokacije vrtića na kojima koncentracije PTE prelaze u granične koncentracije  
(modificirano prema Miko et al, 2010)**

oznaka vrtića	geo.jed.	starost	horizont	ARM100		susceptibilitet		SIRM	
				p	d	p	d	p	d
				(pAm <sup>2</sup> )/kg		(m <sup>3</sup> /kg)		(pAm <sup>2</sup> )/kg	
ZAG 002	a2	g	d	-4E+07	-3E+07	0,00000009	0,00000005	4E+09	2,4E+09
ZAG 013	a2	g	d	-1E+08	-5E+08	0,00000017	0,00000099	1E+10	6,7E+10
ZAG 017	a1	g	d	-6E+07	-8E+07	0,00000011	0,00000014	5E+09	5,3E+09
ZAG 038	a1	g	p	-4E+07	-5E+07	0,00000007	0,00000007	3E+09	3,6E+09
ZAG 045	a	g	d	-5E+07	-1E+08	0,00000009	0,00000024	5E+09	1,2E+10
ZAG 084	a2	g	d	-8E+07	-4E+08	0,00000016	0,00000107	7E+09	4E+10
ZAG 092	a2	spg	d	-2E+07	-7E+07	0,00000005	0,00000016	2E+09	5,6E+09
ZAG 095	a2	spg	d	-3E+07	-2E+08	0,00000021	0,00000036	2E+10	2,4E+10
ZAG 096	a2	spg	p	6E+06	-4E+08	0,00000039	0,00000103	2E+10	3,1E+10
ZAG 097	a2	spg	p	-8E+07	-2E+08	0,00000016	0,00000063	7E+09	2,1E+10
ZAG 098	a2	spg	p						
ZAG 106	a2	spg	d	-8E+07	-3E+08	0,00000018	0,00000054	1E+10	3,5E+10
ZAG 108	a2	spg	p	-5E+08	-1E+08	0,00000107	0,00000025	8E+10	1,3E+10
ZAG 110	pr	spg	p		-1E+08		0,00000017		8,7E+09
ZAG 113	a2	g	d	-5E+07	-1E+08	0,00000011	0,00000025	5E+09	2E+10
ZAG 122	a2	g	d	-2E+08	-4E+07	0,00000039	0,00000008	2E+10	1,5E+09
ZAG 141	l	g	p	-3E+07	-2E+07	0,00000006	0,00000005	3E+09	1,2E+09
ZAG 146	Pl/Q	g	d	-3E+07	-3E+07	0,00000005	0,00000006	2E+09	2,8E+09
ZAG 162	panon/pont	g	d	-5E+07		0,00000009		3E+09	
ZAG 171	dpr	g	d	-1E+08		0,00000015		1E+10	
ZAG 172	a	g	d	-3E+07		0,00000006		1E+09	
ZAG 177	panon/pont	g	d	-5E+07		0,00000010		4E+09	
ZAG 183	l	g	d	-4E+07		0,00000007		3E+09	
ZAG 184	Pl/Q	g	p	-1E+08		0,00000021			
ZAG 185	dpr	spg	d	-3E+07		0,00000008			
ZAG 186	a	g	p	-1E+08		0,00000018		8E+09	
ZAG 192	a	g	d	-3E+07		0,00000005		2E+09	
ZAG 196	a	g	d	-1E+08		0,00000026		1E+10	
ZAG 197	panon/pont	g	p	-2E+08		0,00000041		3E+10	
ZAG 200	panon/pont	g	d	-1E+08		0,00000016		8E+09	

## LEGENDA

p → površinski uzorci

d → dubinski uzorci

g → kategorija „grad“

spg → kategorija „stari povijesni grad“

ARM100 → anhisterezijska remanentna magnetizacije mjerena na jačini polja od 100mT

x → magnetski susceptibilitet

SIRM → saturacijska izotermalna remanentna magnetizacija mjerena na jačini polja od 700mT